

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS AMBIENTALES

TEMA:
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE SENSORES DE
BAJO COSTO DE MATERIAL PARTICULADO 2,5, UBICADOS ALREDEDOR DE
DOS ESTACIONES DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DEL DMQ

AUTORES:
GUERRERO GUERRERO DANILO ROLANDO
VEINTIMILLA HIDALGO EDISON JAVIER

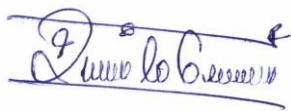
TUTOR:
ULLOA VACA CARLOS ANDRÉS

Quito, septiembre del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Danilo Rolando Guerrero Guerrero con documento de identificación N° 172321958-8 y Edison Javier Veintimilla Hidalgo con documento de identificación N° 172322084-2, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE SENSORES DE BAJO COSTO DE MATERIAL PARTICULADO 2,5, UBICADOS ALREDEDOR DE DOS ESTACIONES DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DEL DMQ, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Danilo Rolando Guerrero Guerrero
172321958-8



.....
Edison Javier Veintimilla Hidalgo
172322084-2

Quito, septiembre 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE MEDIANTE EL USO DE SENSORES DE BAJO COSTO DE MATERIAL PARTICULADO 2,5, UBICADOS ALREDEDOR DE DOS ESTACIONES DE LA RED DE MONITOREO ATMOSFÉRICO DEL DMQ** realizado por Danilo Rolando Guerrero Guerrero y Edison Javier Veintimilla Hidalgo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2021



.....
Carlos Andrés Ulloa Vaca

171645797-1

DEDICATORIA

Yo, Danilo Rolando Guerrero Guerrero con gran satisfacción y orgullo dedico en primer lugar a mis padres, ***Rolando Guerrero*** y ***Jacqueline Guerrero*** que con su apoyo a lo largo de toda mi vida han sabido guiarme y aconsejarme en toda decisión difícil de tomar, este no es solo un logro mío sino también de ustedes.

A mi hermano, ***Martín Guerrero*** por la motivación de seguir adelante en cada uno de estos años y de demostrarle que él puede llegar a cumplir todo lo que se proponga y ser mejor que yo en todos los aspectos de la vida.

A mis abuelitos, ***Papi Juan*** y ***Mami Pía*** que siempre estuvieron pendientes de mi desde muy pequeño y me han brindado todo su amor y cariño incondicional y espero me sigan viendo cosechar muchos logros más.

A mis tíos y primos, sus esposos e hijos que me han apoyado en todo el transcurso de la carrera y se han preocupado por mí en todo momento.

Y a las personas que hoy no están con nosotros físicamente, pero siempre nos han cuidado donde quiera que estén, en especial a mi ***tío Nancho*** que me enseñó, apoyó y acolitó en todo el tiempo que pasó con nosotros, convirtiéndolo en mi cómplice en todo momento y que hasta el día de hoy a toda la familia nos hace mucha falta.

A mis amigos del colegio ***Cristhian V, Dennis M, Andy I, Jefferson L, David R, Stalin M*** a mis amigos del barrio ***Luis C, David Y, Kevin T*** y a todos mis amigos de la UPS que son un montón, pero se han convertido en parte fundamental de este logro y en especial a ***Karina López*** por el apoyo y ayuda brindada cuando más lo necesité.

El trabajo experimental de titulación quiero dedicar en primer lugar a Dios por la fortaleza y ganas de seguir adelante en el transcurso de esta etapa Universitaria, a mis padres que con cariño, paciencia y sacrificio me brindaron la oportunidad de superarme, a mi hermano por el cariño y la confianza brindada para el cumplimiento de esta meta.

A mis amigos con los que compartí un día salón de clase, anécdotas, buenos y malos momentos por su amistad y palabras de apoyo.

Edison

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios pilar fundamental en este logro cumplido, a la Universidad Politécnica Salesiana y los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por los conocimientos brindados.

Al Bqf. Carlos Andrés Ulloa tutor del presente trabajo experimental por su paciencia, conocimientos y amistad brindada, al PhD. César Iván Álvarez por la colaboración prestada.

Queremos agradecer de manera especial a las personas que con buena voluntad nos permitieron ubicar los equipos para culminar de forma satisfactoria el trabajo realizado.

Danilo-Edison

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Problema.....	1
1.2. Delimitación.....	3
1.3. Pregunta de investigación.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	5
2.1. Atmósfera.....	5
2.2. Aire.....	5
2.3. Contaminación atmosférica.....	5
2.4. Fuentes de contaminación atmosférica	6
2.4.1. Por su origen	6
2.4.2. Por su estado físico	7
2.4.3. Por su naturaleza química	7
2.5. Clasificación de las fuentes de emisión.....	8
2.5.1. Naturales	8
2.5.2. Antropogénicas	8

2.6. Material particulado	9
2.7. Procesos de formación de material particulado.....	10
2.8. Composición del (PM _{2,5})	10
2.9. Monitoreo atmosférico	11
2.10. Técnicas de muestreo	11
2.10.1. Muestreo pasivo.....	11
2.10.2. Muestreo con bioindicadores	12
2.10.3. Muestreo activo	12
2.10.4. Muestreo automático	12
2.10.5. Muestreo óptico de percepción remota.....	13
2.11. Técnicas y tecnologías de monitoreo	13
2.11.1. Técnicas de referencia	13
2.11.2. Técnicas no reguladas.....	14
2.12. Experiencia en la región utilizando sensores de bajo costo	15
2.13. Guía de la calidad del aire de la OMS.....	16
2.13.1. Parámetros de acuerdo a la OMS para evaluar la calidad de aire.....	16
2.14. Normativa nacional	17
2.14.1. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire.....	17
2.15. Índice de calidad del aire.....	20
2.15.1. Índice de calidad de aire para PM _{2,5}	21

2.16. Red de monitoreo atmosférico en el DMQ	22
2.16.1. Equipamiento de la REMMAQ	22
2.17. Meteorología	25
2.17.1. Temperatura.....	25
2.17.2. Humedad.....	25
2.17.3. Viento	25
2.17.4. Radiación solar	26
2.17.5. Precipitación	26
2.18. Climatología.....	26
2.19. Consumo de combustible, inventario de emisiones de contaminantes criterio y parque automotor	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1. Diagrama de flujo.....	29
3.2. Equipos y materiales	30
3.3. Fase de campo	30
3.4. Monitoreo y Obtención de datos (valores de PM 2,5)	31
3.4.1. Sensor de marca Sensirion modelo SPS30 para PM2,5.	31
3.5. Puntos de monitoreo.....	32
3.6. Recopilación de datos.....	34
3.7. Análisis estadístico de datos:.....	34

3.7.1. Cálculo del error cuadrático medio (RMSE)	34
3.7.2. Cálculo de análisis de varianza (ANOVA).....	35
3.7.3. Cálculo de la prueba de TUKEY	35
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1. ESTACIÓN REMMAQ “CAMAL METROPOLITANO” Y SENSORES	36
4.1.1. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.	36
4.1.2. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.	38
4.1.3. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.	40
4.1.4. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.	42
4.1.5. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM _{2,5} MES DE DICIEMBRE AÑO 2020 DE LOS SENSORES E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.....	44

4.1.6. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	46
4.1.7. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	48
4.1.8. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	50
4.1.9. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	52
4.1.10. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE ENERO AÑO 2021 DE LOS SENSORES E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.	54
4.1.11. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.	56
4.1.12. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.	58

4.1.13. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.....	60
4.1.14. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.....	62
4.1.15. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM _{2,5} MES DE DICIEMBRE AÑO 2020 DE LOS SENSORES E01-E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.....	64
4.1.16. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.....	66
4.1.17. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.....	68
4.1.18. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.....	70
4.1.19. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.....	72

4.1.20. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE MARZO AÑO 2021 DE LOS SENSORES E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.	74
4.2. ESTACIÓN REMMAQ “TUMBACO” Y SENSORES.....	76
4.2.1. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.....	76
4.2.2. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.....	78
4.2.3. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.....	80
4.2.4. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.....	82
4.2.5. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE DICIEMBRE AÑO 2020 SENSORES E05- E08 Y ESTACION DE TUMBACO.	84
4.2.6. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	86

4.2.7. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	88
4.2.8. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	90
4.2.9. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.....	92
4.2.10. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE ENERO AÑO 2021 SENSORES E05- E08 Y ESTACION DE TUMBACO.	94
4.2.11. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.....	96
4.2.12. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.....	98
4.2.13. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2, 5 DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.....	100

4.2.14. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.....	102
4.2.15. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM _{2,5} MES DE FEBRERO AÑO 2021 SENSORES E05- E08 Y ESTACION DE TUMBACO.	104
4.2.16. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.	106
4.2.17. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.	108
4.2.18. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.	110
4.2.19. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM _{2,5} DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.	112
4.2.20. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS PROMEDIOS DE PM _{2,5} MES DE MARZO AÑO 2021 SENSORES E05- E08 Y ESTACION DE TUMBACO.	114
4.3. ANOVA CAMAL METROPOLITANO	116

4.3.1.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020	116
4.3.2.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de enero año /2021	117
4.3.3.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021	118
4.3.4.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021	119
4.4.	ANOVAS TUMBACO	120
4.4.1.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020	120
4.4.2.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de enero año /2021	121
4.4.3.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021	122
4.4.4.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021	123
4.5.	PRUEBA DE TUKEY CAMAL METROPOLITANO.....	124
4.5.1.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020	124
4.5.2.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de enero año /2021	125
4.5.3.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021	126
4.5.4.	Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021	127
4.6.	PRUEBA DE TUKEY TUMBACO	128
4.6.1.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020	128
4.6.2.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de enero año /2021	129
4.6.3.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021	130
4.6.4.	Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021	131
4.7.	Discusión.....	132

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	135
5.1. Conclusiones	135
5.2. Recomendaciones.....	138
6. BIBLIOGRAFÍA.....	139
7. ANEXOS.....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Escala colorimétrica del índice de calidad del aire para PM _{2,5} América Latina.....	22
Figura 2 Diagrama de flujo.....	29
Figura 3 Puntos de monitoreo dentro del DMQ	34
Figura 4 RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP).....	37
Figura 5 RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)	37
Figura 6 RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)	39
Figura 7 RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB).....	39
Figura 8 RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)	41
Figura 9 RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG).....	41
Figura 10 RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB).....	43
Figura 11 RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)	43
Figura 12 Medias de los sensores y red DMQ mes de diciembre.....	45
Figura 13 RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP).....	47
Figura 14 RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)	47
Figura 15 RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)	49
Figura 16 RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB).....	49
Figura 17 RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)	51
Figura 18 RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG).....	51
Figura 19 RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB).....	53
Figura 20 RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)	53
Figura 21 Medias de los sensores y red DMQ mes de enero.....	55
Figura 22 RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP).....	57

Figura 23 RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)	57
Figura 24 RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)	59
Figura 25 RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB).....	59
Figura 26 RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)	61
Figura 27 RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG).....	61
Figura 28 RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB).....	63
Figura 29 RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)	63
Figura 30 Medias de los sensores y red DMQ mes de febrero	65
Figura 31 RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP).....	67
Figura 32 RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)	67
Figura 33 RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)	69
Figura 34 RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB).....	69
Figura 35 RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)	71
Figura 36 RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG).....	71
Figura 37 RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB).....	73
Figura 38 RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)	73
Figura 39 Medias de los sensores y red DMQ mes de marzo.....	75
Figura 40 RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)	77
Figura 41 RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV).....	77
Figura 42 RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)	79
Figura 43 RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY).....	79
Figura 44 RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)	81
Figura 45 RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE).....	81

Figura 46 RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY).....	83
Figura 47 RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)	83
Figura 48 Medias de los sensores y red DMQ mes de diciembre.....	85
Figura 49 RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)	87
Figura 50 RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV).....	87
Figura 51 RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)	89
Figura 52 RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY).....	89
Figura 53 RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)	91
Figura 54 RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE).....	91
Figura 55 RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY).....	93
Figura 56 RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)	93
Figura 57 Medias de los sensores y red DMQ mes de enero.....	95
Figura 58 RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)	97
Figura 59 RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV).....	97
Figura 60 RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)	99
Figura 61 RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY).....	99
Figura 62 RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)	101
Figura 63 RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE).....	101
Figura 64 RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY).....	103
Figura 65 RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)	103
Figura 66 Medias de los sensores y red DMQ mes de febrero	105
Figura 67 RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)	107
Figura 68 RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV).....	107

Figura 69 RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)	109
Figura 70 RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY).....	109
Figura 71 RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)	111
Figura 72 RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE).....	111
Figura 73 RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY).....	113
Figura 74 RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)	113
Figura 75 Medias de los sensores y red DMQ mes de marzo.....	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Material Particulado (PM).	16
Tabla 2 Tabla de contaminantes según sus niveles de criterio	18
Tabla 3 Ubicación de las estaciones de la red atmosférica del DMQ.....	23
Tabla 4 Principio de operación	24
Tabla 5 Equipos y materiales utilizados	30
Tabla 6 Plataformas	30
Tabla 7 Puntos de monitoreo	33
Tabla 8 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)	36
Tabla 9 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB).....	38
Tabla 10 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG).....	40
Tabla 11 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)	42
Tabla 12 Medias mes de diciembre 2020.....	44
Tabla 13 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)	46
Tabla 14 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB).....	48
Tabla 15 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG).....	50
Tabla 16 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)	52
Tabla 17 Medias mes de enero 2021	54
Tabla 18 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)	56
Tabla 19 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB).....	58
Tabla 20 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG).....	60
Tabla 21 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)	62
Tabla 22 Medias mes de febrero 2021	64

Tabla 23 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)	66
Tabla 24 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB).....	68
Tabla 25 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG).....	70
Tabla 26 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)	72
Tabla 27 Medias mes de marzo 2021.....	74
Tabla 28 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E05_EV).....	76
Tabla 29 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E06_EY).....	78
Tabla 30 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E07_CE).....	80
Tabla 31 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E08_DY)	82
Tabla 32 Medias mes de diciembre 2020.....	84
Tabla 33 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E05_EV).....	86
Tabla 34 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E06_EY).....	88
Tabla 35 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E07_CE).....	90
Tabla 36 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E08_DY)	92
Tabla 37 Medias mes de enero 2021.....	94
Tabla 38 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E05_EV).....	96
Tabla 39 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E06_EY).....	98
Tabla 40 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E07_CE).....	100
Tabla 41 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E08_DY)	102
Tabla 42 Medias mes de febrero 2021	104
Tabla 43 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E05_EV).....	106
Tabla 44 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E06_EY).....	108
Tabla 45 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E07_CE).....	110

Tabla 46 Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E08_DY)	112
Tabla 47 Medias mes de marzo 2021	114
Tabla 48 Descripción de los datos para el ANOVA	116
Tabla 49 Resultados del método estadístico ANOVA.....	116
Tabla 50 Descripción de los datos para el ANOVA	117
Tabla 51 Resultados del método estadístico ANOVA.....	117
Tabla 52 Descripción de los datos para el ANOVA	118
Tabla 53 Resultados del método estadístico ANOVA.....	118
Tabla 54 Descripción de los datos para el ANOVA	119
Tabla 55 Resultados del método estadístico ANOVA.....	119
Tabla 56 Descripción de los datos para el ANOVA	120
Tabla 57 Resultados del método estadístico ANOVA.....	120
Tabla 58 Descripción de los datos para el ANOVA	121
Tabla 59 Resultados del método estadístico ANOVA.....	121
Tabla 60 Descripción de los datos para el ANOVA	122
Tabla 61 Resultados del método estadístico ANOVA.....	122
Tabla 62 Descripción de los datos para el ANOVA	123
Tabla 63 Resultados del método estadístico ANOVA.....	123
Tabla 64 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY.....	124
Tabla 65 Resultados de la prueba de TUKEY	124
Tabla 66 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY.....	125
Tabla 67 Resultados de la prueba de TUKEY	125
Tabla 68 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY.....	126

Tabla 69 Resultados de la prueba de TUKEY	126
Tabla 70 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY	127
Tabla 71 Resultados de la prueba de TUKEY	127
Tabla 72 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY	128
Tabla 73 Resultados de la prueba de TUKEY	128
Tabla 74 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY	129
Tabla 75 Resultados de la prueba de TUKEY	129
Tabla 76 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY	130
Tabla 77 Resultados de la prueba de TUKEY	130
Tabla 78 Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY	131
Tabla 79 Resultados de la prueba de TUKEY	131

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Error cuadrático medio.....	35
---	----

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Sector del Camal Metropolitano	147
Anexo 2 Sector de Tumbaco.....	147
Anexo 3 Fotografía de los sensores de bajo costo PM2,5	148
Anexo 4 Sensores de bajo costo con antena wifi.....	148
Anexo 5 Instalación del sensor E01_MP.....	149
Anexo 6 Instalación del sensor E02_MB	149
Anexo 7 Instalación del sensor E03_EG	150
Anexo 8 Instalación del sensor E04_FB.....	150
Anexo 9 Instalación del sensor E05_EV	151
Anexo 10 Instalación sensor E06_EY	151
Anexo 11 Instalación del sensor E07_CE	152
Anexo 12 Instalación del sensor E08_DY.....	152

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo utilizar sensores de bajo costo para medir material particulado (PM_{2,5}) alrededor de dos estaciones de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ) y a la vez compararlas con los valores que arrojan estas estaciones diariamente, el PM_{2,5} es uno de los contaminantes que sobrepasa frecuentemente los valores máximos permisibles, y según los índices de calidad de aire que se encuentran disponibles en la Web, es el contaminante que generalmente dirige la calificación de los ICA como moderado o insalubre a nivel mundial. La importancia de este contaminante radica en que en su composición contiene “elementos que están compuestos de elementos que son tóxicos como metales pesados y compuestos orgánicos productores de cáncer” (Parra, 2010, pp.3). Además, el PM_{2,5} es uno de los responsables de la agudización del cambio climático.

Este trabajo también tiene como propósito determinar el nivel de representatividad y alcance de las mediciones registradas por dos estaciones de la REMMAQ que fueron escogidas para el estudio: Estación del Camal Metropolitano y Tumbaco, para esto se colocaron 4 sensores SENSIRION SPS30 para PM_{2,5} cerca de las dos estaciones estudiadas. En vista de que los valores registrados por las estaciones distaban de los valores obtenidos por los sensores utilizados, y asumiendo que los datos de las estaciones son reales, se determinaron los errores medios cuadráticos de las mediciones realizadas con los sensores, además de un ANOVA y prueba de Tukey entre las medidas de las estaciones y sensores, y entre sensores, apreciándose que existe diferencias estadísticas marcadas entre las medidas obtenidas por los sensores y las medidas obtenidas por las estaciones de monitoreo, además se determinó que la distancia es un factor preponderante en definir estas diferencias, ya que alrededor de la estación del Camal Metropolitano los sensores se ubicaron a mayor distancia que 2 sensores colocados en la estación

de Tumbaco, y la primera estación se determina que existen diferencias significativas de valores registrados entre sensores y la estación.

Además, se determinó que la humedad relativa y temperatura son respectivamente, inversa y directamente proporcionales con respecto a la concentración de PM_{2,5}.

Palabras clave: Sensores de bajo costo, material particulado PM_{2,5}, calidad del aire, ciencia ciudadana, Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico.

ABSTRACT

The objective of this research work is to use low-cost sensors to measure particulate matter (PM_{2.5}) around two stations of the Metropolitan Atmospheric Monitoring Network (REMMAQ) and at the same time compare them with the values that these stations give daily, the PM_{2.5} is one of the pollutants that frequently exceeds the maximum allowable values, and according to the air quality indices that are available on the Web, it is the pollutant that generally leads the rating of ICA as moderate or unhealthy worldwide. The importance of this pollutant is that in its composition it contains “elements that are composed of elements that are toxic such as heavy metals and organic compounds that produce cancer” (Parra, 2010, pp.3). In addition, PM_{2.5} is one of those responsible for the exacerbation of climate change.

The purpose of this work is also to determine the level of representativeness and scope of the measurements recorded by two REMMAQ stations that were chosen for the study: Camal Metropolitano and Tumbaco stations, for this, 4 SENSIRION SPS30 sensors for PM_{2.5} were placed near of the two stations studied. In view of the fact that the values recorded by the stations were far from the values obtained by the sensors used, and assuming that the data from the stations are real, the mean square errors of the measurements made with the sensors were determined, in addition to an ANOVA and Tukey test between the measurements of the stations and sensors, and between sensors, appreciating that there are marked statistical differences between the measurements obtained by the sensors and the measurements obtained by the monitoring stations, it was also determined that the distance is a preponderant factor in define these differences, since around the Camal Metropolitano station the sensors were located at a greater distance than 2 sensors placed at the Tumbaco station, and the first station it was determined that there were significant differences in values recorded between sensors and the station .

In addition, it was determined that the relative humidity and temperature are respectively, inversely and directly proportional with respect to the concentration PM2.5.

Keywords: Low cost sensors, PM2.5 particulate matter, air quality, citizen science, Metropolitan Atmospheric Monitoring Network.

SIGLAS Y ABREVIATURAS

ALPHA

Nivel de confianza

ANOVA

Analysis of Variance

AQM

Gestión de la Calidad de Aire

E01_MP

Sensor 01

E02_MB

Sensor 02

E03_EG

Sensor 03

E04_FB

Sensor 04

E05_EV

Sensor 05

E06_EY

Sensor 06

E07_CE

Sensor 07

E08_DY

Sensor 08

HR

Humedad Relativa

ICA

Índice de calidad de aire

LMP

Límite máximo permisible

NAAQS

Estándares Nacionales de Calidad de Aire

P VALUE

Probabilidad

PM_{2,5}

Material particulado 2,5

RED DMQ

Red del Distrito Metropolitano de Quito

REMMAQ

Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

La contaminación del aire es uno de los principales problemas que surge a partir de la “Revolución Industrial (Inglaterra, entre 1760 y 1800), en la que los procesos de producción y más adelante transporte, involucraban la utilización de energía y maquinaria para la fabricación de productos que no eran proporcionados por la naturaleza” (S. García, 2015), sin embargo, el problema de la contaminación del aire es abordado recientemente por algunas ciudades en el mundo que se han preocupado de medir y divulgar la calidad del aire ambiente utilizando diferentes formas de expresar la contaminación mediante herramientas que han permitido incluso decretar emergencias ambientales. Además de los contaminantes criterio (material particulado 10 y 2,5; ozono, dióxido de azufre, monóxido de carbono) y las concentraciones cada vez mayores de gases de efecto invernadero, existe un consenso en la comunidad científica de que las actividades antrópicas, principalmente las del sector de la industria y del transporte, son las principales responsables de los altos niveles de contaminación que existen en la actualidad, y de los efectos cada vez más visibles del cambio climático.

Un hito histórico para la regulación de la contaminación del aire ocurrió en diciembre de 1952 en Reino Unido catástrofe conocida como la Gran Niebla de Londres, siendo tan tóxica que mató a más de 12000 personas en 4 días. El origen de tal fenómeno se dio debido a la quema excesiva de combustibles fósiles por parte de las industrias encontradas en la ciudad (Marín, 2016). Las condiciones meteorológicas reinantes durante este episodio fueron la marcada estabilidad atmosférica y las bajas temperaturas registradas, ambos factores no permitieron la dispersión del aire contaminado provocando una inversión térmica que duró algunos días.

Pasaron 20 años de este episodio hasta que en 1970 en Estados Unidos fueron publicados los Estándares Nacionales de Calidad de Aire (NAAQS) los cuales plantean programas de reducción de humo y control de la contaminación teniendo la primera participación federal y el desarrollo de la Gestión de la Calidad de Aire (AQM). Los primeros Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiente (NAAQS) fueron implementados entre los años 1971 y 1976 los mismos que constantemente son revisados y mejorados con la finalidad de mantener un sistema AQM que esté basado en estándares ambientales que sustenten las necesidades nacionales y su aplicación en zonas específicas de emisiones (MINAMBIENTE, 2016).

En Ecuador destaca la gestión pública realizada por el Municipio de Quito que es el único que ha implementado y perfeccionado la gestión de la calidad del aire con el pasar de los años desde la instalación de las 8 estaciones de monitoreo continuo y en tiempo real. Obteniendo de esta manera datos de los contaminantes comunes del aire y que son comparados con la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente (Páez, 2012).

En varios estudios científicos se asocian a la exposición al material particulado con problemas en la salud humana como son: irritación en las vías respiratorias, tos o problemas al respirar, exacerbación de asma, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, muerte prematura. por lo que, las personas más afectadas por material particulado son aquellas con enfermedades cardíacas o pulmonares, niños y adultos mayores (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2018; Rioja y Zúñiga, 2017), así también (Mata, 2011) determina que la exposición a material particulado conlleva a fenómenos como la tos crónica, neuropatías, bronquitis e incluso cáncer pulmonar.

1.2. Delimitación

El presente trabajo de investigación toma como referencia a dos estaciones de red REMMAQ Tumbaco ubicada en la terraza de Andinatel (Gaspar de Carvajal) a una altitud de 2331 MSNM y el Camal Metropolitano ubicada en la terraza del Hospital patronato municipal San José del sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza) a una altitud de 2840 MSNM. En el Anexo 1 y 2 se observa la ubicación satelital tanto de los sensores de bajo costo como las estaciones de la REMMAQ.

1.3. Pregunta de investigación

¿Pueden los sensores de bajo costo reemplazar a una red de monitoreo municipal?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- ✓ Evaluar la representatividad de los datos generados por dos estaciones de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico DMQ del contaminante PM_{2,5} mediante el uso de sensores de bajo costo ubicados a su alrededor.

1.4.2. Objetivos Específicos

- ✓ Analizar el comportamiento del Material Particulado PM_{2,5} mediante el uso de un índice de calidad del aire durante el periodo de monitoreo que será efectuado entre los meses de diciembre del 2020 y enero hasta marzo del 2021.
- ✓ Contar con la plataforma virtual de ciencia ciudadana de calidad de aire que soportará los datos obtenidos de los sensores de bajo costo PM_{2,5} en tiempo real, instalados alrededor de las dos estaciones de la Red de Monitoreo del DMQ.

- ✓ Definir los parámetros físicos - meteorológicos que influyen sobre la representatividad de los datos obtenidos en las estaciones de la Red de Monitoreo.

1.5. Hipótesis

Ho: El promedio de los valores PM_{2,5} obtenidos durante el monitoreo en el periodo de diciembre 2020 a marzo 2021 entre los sensores de bajo costo y la red REMMAQ Camal Metropolitano y Tumbaco son iguales.

Ha: El promedio de los valores PM_{2,5} obtenidos durante el monitoreo en el periodo de diciembre 2020 a marzo 2021 entre los sensores de bajo costo y la red REMMAQ Camal Metropolitano y Tumbaco son diferentes.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Atmósfera

La tierra posee una capa de aire denominada atmósfera terrestre que posee un espesor de 50 km. Sin embargo, gran parte de ella se encuentra en una delgada capa que tiene un espesor de alrededor de 6 km y que se denomina tropósfera. La permanencia de los componentes químicos en la atmósfera se debe a su masa y a la gravedad terrestre (Lara Barragán y Núñez, 2007).

2.2. Aire

El aire está presente en todas las propiedades de cada uno de sus elementos que lo constituye y está compuesto por elementos como el nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono e hidrógeno además de ozono, hidruros volátiles, vapor de agua y algunos productos de la combustión (Anta Félez et al., 1997).

El aire que los seres vivos respiramos es aire atmosférico, lo cual posee una mezcla gaseosa formada por el 78,06% de nitrógeno, el 20,98% de oxígeno y el 0,04% de dióxido de carbono, y otros gases en pequeñas concentraciones que es del 0,92% como vapores de agua y argón, siendo este último el más importante (Santalla Hernández et al., 2013).

2.3. Contaminación atmosférica

Es el resultado de las actividades desarrolladas por los humanos en el medio en dónde se desenvuelven, encontrando de esta manera elementos en la atmósfera que con el tiempo llegan afectar la salud de los seres humanos y el deterioro del ambiente (Norma Técnica 001, 2001).

Según la (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, 2021), una o varias sustancias químicas en concentraciones muy elevadas en el aire pueden ocasionar daño tanto a la vegetación, animales y seres humanos y dichas sustancias también pueden ser el ruido y el calor excesivo.

La contaminación atmosférica constituye un riesgo ambiental para la salud. Los países pueden disminuir su tasa de morbilidad procedentes por derivaciones de enfermedades respiratorias mediante la disminución de los niveles de contaminación (Organización Mundial de la Salud, 2018).

La contaminación atmosférica también puede ocurrir por actividades que estas no provengan del humano, como son las erupciones volcánicas o quemas forestales ocasionados de forma natural (Echeverri Londoño, 2019).

2.4. Fuentes de contaminación atmosférica

La contaminación atmosférica se clasifica de acuerdo al interés y las necesidades ya que es posible analizar y clasificar los contaminantes del aire de varias formas, ya sean estas por su composición, por su estado físico, por su origen o sus propósitos regulatorios y de gestión (Sosa Núñez, 2018)

Existen varias clasificaciones para la contaminación atmosférica, pero las más utilizadas son las siguientes:

2.4.1. Por su origen

2.4.1.1. Contaminantes primarios. Son emitidos directamente hacia la atmósfera como resultado de un proceso natural o antropogénico , por ejemplo, la producción de energía a partir de combustibles fósiles, el transporte, producción de pinturas, resinas, el uso de solventes, el desgaste de neumáticos y frenos, la explotación minera y petrolera son procesos realizados por el

hombre, mientras que las erupciones volcánicas la producción de aerosoles marinos la erosión eólica las tormentas eléctricas son procesos naturales que pueden causar la emisión de diferentes contaminantes. Los principales son: monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, material particulado y el dióxido de carbono que a pesar de no ser considerado un contaminante por su producción natural es responsable del calentamiento global (Rico Méndez et al., 2001).

2.4.1.2. Contaminantes secundarios. Son aquellos que se forman en la atmósfera por el producto de una reacción, por ejemplo, el ozono y los sulfatos (Rico Méndez et al., 2001).

2.4.2. Por su estado físico

2.4.2.1. Gases. Siendo también los vapores uno de los principales, ya que una vez difundidos permanecen en la atmósfera y pueden transformarse en compuestos más simples o complejos (Rico Méndez et al., 2001).

2.4.2.2. Partículas. Se consideran líquidas o sólidas, incluso al polvo, humo y cenizas (Rico Méndez et al., 2001).

2.4.3. Por su naturaleza química

2.4.3.1. Orgánicos. Se consideran los compuestos que contienen carbono e hidrógeno, por ejemplo, los hidrocarburos y sus derivados (Rico Méndez et al., 2001).

2.4.3.2. Inorgánicos. Se consideran a los compuestos que no contienen carbono, partículas metálicas, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, con algunas excepciones, por ejemplo, monóxido de carbono y dióxido de carbono (Rico Méndez et al., 2001).

2.5. Clasificación de las fuentes de emisión

Las fuentes de emisión se clasifican según su origen que son los siguientes:

2.5.1. Naturales

Las fuentes naturales han existido de mayores y menores magnitudes y frecuencias, ya que son todos los procesos de emisión que están presentes en el ecosistema por los eventos meteorológicos, geológicos y los distintos procesos metabólicos (Rico Méndez et al., 2001).

Según (Rico Méndez et al., 2001) existen ejemplos claros de fuentes naturales son:

- ✓ Erupciones volcánicas, las cuales emiten contaminantes gaseosos, tales como dióxido de azufre, metano y ácido sulfhídrico.
- ✓ Las partículas que son levantadas por el viento y los suelos erosionados como una fuente muy importante natural de la contaminación atmosférica.
- ✓ Los incendios forestales, que, al ser originarios de una actividad humana, generan óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, humo y cenizas.
- ✓ Los procesos metabólicos presentes en la vegetación, los cuales poseen una cantidad de hidrocarburos.
- ✓ Los océanos transportan de manera continua partículas de sal, las cuales para los metales y las pinturas pueden tener un efecto corrosivo.
- ✓ Y otras fuentes pueden ser los pantanos, lagos alcalinos y las crías de ganado.

2.5.2. Antropogénicas

Las fuentes antropogénicas son el resultado de las actividades humanas que se les puede clasificar en los siguientes:

2.5.2.1. Por su movilidad.

2.5.2.1.1. Fuentes fijas. Toda instalación establecida en un solo lugar que tenga una finalidad industrial, comercial que puedan o generen emisiones contaminantes a la atmósfera, por ejemplo, cementeras, refinerías e industrias de aspecto alimenticio y químicas (Rico Méndez et al., 2001).

2.5.2.1.2. Fuentes móviles. Las maquinarias no fijas con motores de combustión que por sus operaciones generan emisiones a la atmósfera como son: aviones, automóviles, buses, entre otras (Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático, 2007a).

2.5.2.2. Por su distribución espacial.

2.5.2.2.1. Fuentes puntuales. Las emisiones de contaminantes atmosféricos son derivadas de energía eléctrica y de distintas actividades industriales como: la química, maderera, metalúrgica, entre otras (Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático, 2007b).

2.5.2.2.2. Fuentes no puntuales. También conocidas como fuentes de área, son las que incluyen emisiones consustanciales como son: almacenamientos de GLP, tratamiento de aguas residuales, rellenos sanitarios, entre otras (Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático, 2007b).

2.6. Material particulado

Con respecto al TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULSMA), anexo 3 del libro VI, el material particulado se encontraría “constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera” (Ministerio del Ambiente, 2003).

Así también la materia particulada (PM) comprende las partículas sólidas y líquidas que se encuentran en el aire, la mayoría de estas representan un peligro. El material particulado entre otras cosas contiene polvo, polen, hollín, humo y pequeñas gotas de agua que entre su variedad de tamaños encontramos desde grueso, fino y hasta ultra fino con origen y composiciones variadas. Las partículas suelen ser emitidas de manera directa cuando se da algún tipo de combustión o a su vez cuando el polvo es arrastrado por el viento; también puede llegar a formarse en la atmósfera mediante la transformación de gases emitidos como el SO_2 (Cient, 2004).

2.7. Procesos de formación de material particulado

En cuanto al proceso de formación de materia particulada tenemos partículas primarias que son aquellas emitidas de forma directa a la atmósfera desde una fuente emisora, sin tener ninguna transformación física o química. Las partículas secundarias son aquellas que han pasado por procesos químicos de precursores gaseosos, esta transición de gas a partículas puede dar como resultado otras partículas por un proceso de condensación que después aumentan por coalescencia denominándose nucleación homogénea, por otra parte, si la condensación se da sobre partículas ya existentes entonces tomará el nombre de nucleación heterogénea. En estos dos procesos existe un aumento en la masa de partículas por unidad de volumen, pero solo en el proceso de nucleación homogénea se llega a dar un aumento en el número de partículas por unidad de volumen. Las partículas secundarias se encuentran categorizadas en partículas finas además de ser de origen antrópico (CMAOT, 2020).

2.8. Composición del (PM_{2,5})

El material particulado se encuentra formado en su mayoría por componentes inorgánicos como el sulfato y nitrato de amonio. Tomando en cuenta los componentes orgánicos encontramos gran número de compuestos los cuales irían desde moléculas pequeñas hasta sustancias poliméricas con

una masa molecular grande que pueden estar en estado sólido y líquido. Entre los componentes que predominan están los nitratos orgánicos como peroxiacetilnitratos, alquilados y varios polímeros que son el resultado de procesos fotoquímicos naturales. En fracciones pequeñas pero que representan una mayor peligrosidad se encuentran compuestos que son liberados de forma directa como los n-alcanos, hidrocarburos aromáticos, plaguicidas (Borrás García, 2013).

El material particulado (PM_{2,5}) comprende “partículas inhalables finas que tienen diámetros de por lo general, 2,5 micrómetros y menores” (EPA, 2020).

Las partículas que corresponden a PM_{2,5} son “100 % respirables ya que viajan profundamente en los pulmones, penetrando en el aparato respiratorio y depositándose en los alvéolos pulmonares, incluso pueden llegar al torrente sanguíneo” (Linares y Díaz, 2008).

2.9. Monitoreo atmosférico

El monitoreo atmosférico se especifica en metodologías diseñadas para poder realizar el muestreo, análisis y el procedimiento de una forma continua a las concentraciones de las sustancias o de los contaminantes que se encuentran presentes en el aire en un sitio y tiempo determinado (R. García et al., 2006).

2.10. Técnicas de muestreo

El control de la calidad del aire se le puede obtener de distintos métodos los cuales son:

2.10.1. Muestreo pasivo

El tipo de muestreo recolecta un cierto contaminante por medio de la absorción y/o adsorción de una sustancia química seleccionada. Después de un cierto periodo al que estuvo expuesto la sustancia, que puede variar en horas, meses o un año, se procede a realizarse la desorción de la

muestra en el laboratorio para que se realice con su análisis cuantitativo. La forma de estos equipos son tubos o discos que se encuentran en diferentes tamaños y se los conoce como muestreadores pasivos (INE, 2016).

2.10.2. Muestreo con bioindicadores

Este tipo de muestreo involucra el uso de la especie vegetal, como plantas y árboles, en donde la superficie desempeña una función receptora de los contaminantes. Pese a que se han desarrollado varias metodologías aun presentan ciertos problemas en cuanto a la utilización de estas técnicas. El uso de los bioindicadores para evaluar algunos factores ambientales como la calidad atmosférica (INE, 2016).

2.10.3. Muestreo activo

Para este muestreo es necesario energía eléctrica para poder absorber el aire mediante un medio químico o físico. Cuando se tiene un incremento adicional de aire este aumenta la sensibilidad, por lo que se consiguen mediciones diarias. Estos se pueden clasificar en burbujeadores que sirven para gases e impactadores (INE, 2016).

2.10.4. Muestreo automático

Este método posee mejoras en términos de resolución con respecto a sus mediciones, que se toma de forma continua por sus concentraciones horarias. Los contaminantes que se pueden determinar son los más comunes que se hayan en la contaminación atmosférica (Material Particulado, CO, SO₂, NO₂ y O₃) hasta contaminantes tóxicos como el mercurio. Las muestras recolectadas se analizan en los laboratorios por métodos de cromatografía de gases y espectroscopia (INE, 2016).

2.10.5. Muestreo óptico de percepción remota

Técnicamente se basan en métodos de espectroscopia que transfieren una ráfaga de luz en una cierta longitud de onda a la atmósfera y lo cual es posible obtener mediciones en tiempo real en ciertos contaminantes. Los equipos utilizados se conocen como sensores remotos (INE, 2016).

2.11. Técnicas y tecnologías de monitoreo

La contaminación atmosférica es uno de los problemas que produce un impacto importante en el ecosistema generado por óxidos de azufre, de nitrógeno, de carbono, ozono, hidrocarburos, material particulado suspendido, entre otros. Por el riesgo que representan estos contaminantes en cuanto a la salud a nivel mundial se establecen normas para una regulación adecuada de las concentraciones permitidas en la atmósfera urbana y en la cual se conocen dos técnicas que se describen a continuación (Ecuatoriano, 2018).

2.11.1. Técnicas de referencia

Estas técnicas abarcan aquellas actividades que se realizan en laboratorios especializados en los cuales se realizan procedimientos como el análisis de la calidad de aire, ensayos mediante la captación y en análisis de muestras, todas estas actividades se basan en la determinación de contaminantes que pasen los límites permitidos legales o que presenten tendencia hacia ello. Las técnicas utilizadas para medir contaminantes en el aire tienen como referencia los fenómenos físicos-químicos que se dan en la atmósfera, entre los principios que se conocen para la medición de material particulado encontramos espectrofotometría, fluorescencia UV y quimioluminiscencia por consiguiente el material particulado recolectado en los filtros se pesa y para determinar la cantidad de material particulado que encontramos en un volumen determinado de aire se lo obtiene mediante la diferencia del peso del filtro vacío con el peso de filtro utilizado (Ecuatoriano, 2018).

2.11.2. Técnicas no reguladas

Dentro de esta técnica encontramos la implementación de dispositivos electrónicos que tienen como objetivo el almacenar transportar o enviar datos e información, dichos dispositivos se encuentran programados por un circuito electrónico en dónde los datos obtenidos son enviados a una plataforma digital, dentro de estos dispositivos electrónicos encontramos los equipos de bajo costo y se destaca la utilización de sensores.

2.11.2.1. Sensores.

Este tipo de dispositivos receptan de manera automática información de diferentes factores atmosféricos como: presión, temperatura, etc., la información que se obtiene se procesa dando como resultado datos entendibles para el usuario (Raúl, 2015).

En la actualidad el campo en el cual se desarrolla el uso de sensores es amplio conlleva temas investigativos, estudios de referencia para la obtención de datos como humedad, temperatura, compuestos, etc., este tipo de dispositivos se puede manejar como una herramienta de gestión interna para determinar la eficacia de actuaciones, así como para la obtención de medidas de referencia para la detección de focos emisores (Departamento de Territorio y Sostenibilidad, 2018).

Según (Alberto y Farfán, 2010) los sensores se dividen en diversos tipos entre los cuales encontramos:

- ✓ Sensores pasivos: Generan señales las cuales describen magnitudes a representar por parte de una fuente auxiliar, entre los cuales encontramos sensores de parámetros variables;

- ✓ Sensores activos: Generan señales que representan magnitudes de manera autónoma y no requieren de alguna fuente de alimentación entre los cuales encontramos sensores piezoeléctricos, fotovoltaicos, termoelectricos, electroquímicos, magnetoeléctricos;
- ✓ Sensores analógicos: Este tipo de sensores se mantienen en un muestreo continuo;
- ✓ Sensores digitales: Se manejan por medio de una señal codificada o por medio de sistemas binarios;

2.12. Experiencia en la región utilizando sensores de bajo costo

En este punto se puede considerar a la organización CanAirIO que desarrolló “un proyecto de ciencia ciudadana que utiliza sensores de bajo costo para medir la calidad del aire (Material Particulado PM_{2,5}) con teléfonos celulares (medición móvil) o la wifi (mediciones estáticas) con tecnología de bajo costo y código fuente abierto”(SciStarter.org, 2020).

Uno de los proyectos ciudadanos de calidad de aire se desarrolló en Bogotá con el uso de sensores de bajo costo, esta tecnología fue diseñada para promover una participación ciudadana. Por medio de este proyecto se ha logrado prevenir sobre la mala calidad de aire en algunos lugares de la ciudad, en especial se determinó que el polvo proveniente del Sahara estaría causando complicaciones al aire de Bogotá (Bernal, 2020).

La contaminación del aire en las grandes ciudades mexicanas fue analizada mediante la utilización de 4 sensores de bajo costo los mismo que fueron fabricados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts, estos sensores son capaces de monitorear SO₂, CO, O₃, NO₂, PM₁, PM_{2,5} y PM₁₀, en un tiempo de 24 horas continuas por 24 días. Los equipos fueron instalados cerca a la estación de monitoreo del Centro de Ciencias de la Atmósfera perteneciente a la red de monitoreo de la Ciudad de México (Molina, 2018).

También se han desarrollado herramientas de difusión de los monitoreos que realizan algunas ciudades en el mundo. Uno de los más importantes es el índice de calidad del aire que es implementado a nivel local y a nivel regional, siendo este último el que más se está utilizando ya que existen páginas web que extraen a tiempo real la información de las estaciones de monitoreo y convierten los registros de las concentraciones de los contaminantes criterio en una escala de color que va de verde a violeta siendo de fácil entendimiento y uso por los usuarios comunes.

2.13. Guía de la calidad del aire de la OMS

La Organización Mundial de la Salud entre sus funciones contempla acciones que se relacionan de manera directa con la salud de la población mundial por lo cual se encarga de emitir normas, guías e instructivos utilizadas por las instituciones regionales, nacionales y locales que sirven como apoyo para los procesos de gestión de la calidad del ambiente y como se manifiestan en la salud humana. De esta manera la OMS aportó con la creación de la “Guía de la calidad del aire” documento en el cual se encuentran valores límites permisibles de contaminación (OMS, 2005).

2.13.1. Parámetros de acuerdo a la OMS para evaluar la calidad de aire.

Tabla 1
Material Particulado (PM).

MP_{2.5}	10 µg/m³, media anual
	25 µg/m ³ , media de 24 horas
MP₁₀	20 µg/m ³ , media anual
	50 µg/m ³ , media de 24 horas

Nota. Tomado de: (OMS 2005, pp. 9).

Las pruebas relativas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en los países

desarrollados como en desarrollo. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular.

Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5 μ (PM_{2,5}) se ha estimado en 3-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas. (OMS, 2005, pp.9)

2.14. Normativa nacional

El TULSMA define como contaminante del aire la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente (MAAE, 2003)

2.14.1. Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire se publicó en el Registro Oficial el 7 de junio del 2011, su contenido se encuentra fundamentado en el Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (MAE, 2011).

2.14.1.1. Material Particulado Menor a 2,5 Micrones (PM_{2,5}). El promedio de las muestras registradas de PM_{2,5} tomadas en un año no deberán sobrepasar los 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y tomando en cuenta un periodo de 24 horas no se deberá sobrepasar los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lo que se establece en la

norma de calidad de aire con respecto al PM_{2,5}, si los valores registrados en 24 horas en un periodo anual por una estación de monitoreo son igual o mayor a 50 µg/m³ se considera que sobrepasa la norma (MAE, 2011).

2.14.1.2. Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire. “La Entidad Ambiental de Control verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel de suelo en el aire ambiente de los contaminantes comunes no excedan los valores estipulados”(MAAE, 2003, pp. 406).

Se establecen los siguientes niveles de alerta, alarma y emergencia para la calidad del aire los cuales a continuación se presenta en la Tabla 2, las concentraciones de contaminantes criterio que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire.

Tabla 2
Tabla de contaminantes según sus niveles de criterio

CONTAMINANTE Y PERIODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
Monóxido de carbono concentración promedio en ocho horas (µg/m³)	15000	30000	40000
Ozono concentración promedio en ocho horas (µg/m³)	200	400	600
Dióxido de nitrógeno concentración promedio en una hora (µg/m³)	1000	2000	3000
Dióxido de azufre concentración promedio en veinticuatro horas (µg/m³)	200	1000	1800
Material particulado pm₁₀ concentración en veinticuatro horas (µg/m³)	250	400	500
Material particulado pm_{2,5} concentración en veinticuatro horas (µg/m³)	150	250	350

Nota. Tomado de: MAAE (2003, pp. 409).

2.14.1.3. Medidas a tomar por las autoridades ambientales en caso de registrar niveles de alerta, alarma y emergencia por emisión de contaminantes

Nivel de Alerta

Según (MAAE, 2003, pp. 410) las medidas a tomar en los niveles de alerta son las siguientes:

- ✓ Informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta.
- ✓ Restringir la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos.
- ✓ Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encontrase fuera de operación.

Nivel de Alarma

Según (MAAE, 2003, pp. 410) las medidas a tomar en los niveles de alarma son las siguientes:

- ✓ Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma.
- ✓ Restringir, e inclusive prohibir, la circulación de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma.

Nivel de Emergencia

Según (MAAE, 2003, pp. 410) las medidas a tomar en los niveles de emergencia son las siguientes:

- ✓ Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia.

- ✓ Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos, así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia.
- ✓ Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Autoridad Ambiental de Aplicación Responsable acreditada ante el Sistema Único de Manejo Ambiental.

2.15. Índice de calidad del aire

El índice de calidad de aire representa un sistema mediante el cual se manejan notificaciones acerca de la calidad de aire o contaminación atmosférica en diferentes sectores. Por medio de una red de monitoreo se calcula el índice diario que se encarga de categorizar a cada contaminante, de esta manera cuanto más alto sea el valor registrado por el ICA el nivel de contaminación será mayor y de igual manera las afecciones a la salud irán en aumento (Aburrá, 2019).

El IQCA fue trazado por el MDMQ para dar a conocer información real y de fácil comprensión a cerca de los niveles de contaminación del aire.

La finalidad de la representación de datos con términos técnicos de ingeniería ambiental en expresiones generalizadas mediante la conversión de las concentraciones de los contaminantes, expresadas en microgramos por metro cúbico en escalas numéricas y coloidales comunes para la identificación de todos los contaminantes y sus afecciones a la salud (Secretaría de Ambiente, 2021a).

Según (Secretaría de Ambiente, 2021a) el IQCA es una escala numérica entre 0 y 500 también categorizada por colores los cuales se encuentran descritos a continuación:

- ✓ **Óptima:** Color blanco (ICA de 0 a 50);
- ✓ **Buena:** Color verde (ICA de 50 a 100);
- ✓ **No saludable para individuos extremadamente sensibles:** Color gris (ICA de 100 a 200);
- ✓ **No saludable para la mayoría de la población y peligrosa para individuos sensibles:** Color naranja (ICA 300 a 400);
- ✓ **Peligrosa para toda la población:** Rojo (ICA 400 a 500);

2.15.1. Índice de calidad de aire para PM_{2,5}

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recientemente plantea la utilización de indicadores para la concentración de material particulado a las partículas con tamaños inferiores a 2,5 micras, PM_{2,5} frente a los valores utilizados con las partículas de tamaños inferiores a 10 micras, PM₁₀.

Las partículas suspendidas con un diámetro menor a 2,5 micras representan un referente en cuanto a la contaminación urbana. Debido a que su origen en la mayoría de las situaciones es a causa de las emisiones vehiculares en la ciudad, también se analiza los efectos adversos producidos a la salud de la población (Linares Gil y Díaz Jiménez, 2008).

Figura 1

Escala colorimétrica del índice de calidad del aire para PM_{2,5} América Latina

AQI	Nivel de contaminación del aire	Implicaciones para la salud	Declaración de precaución (para PM _{2.5})
0 - 50	Bueno	La calidad del aire se considera satisfactoria y la contaminación del aire presenta poco o ningún riesgo.	Ninguna
51 -100	Moderar	La calidad del aire es aceptable; sin embargo, para algunos contaminantes puede haber un problema de salud moderado para un número muy pequeño de personas que son inusualmente sensibles a la contaminación del aire.	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias, como asma, deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
101-150	Nocivo para grupos sensibles	Los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos sobre la salud. No es probable que el público en general se vea afectado.	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias, como asma, deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre.
151-200	Insalubre	Todos pueden comenzar a experimentar efectos sobre la salud; los miembros de grupos sensibles pueden experimentar efectos de salud más graves	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias, como asma, deben evitar el esfuerzo prolongado al aire libre; todos los demás, especialmente los niños, deben limitar el esfuerzo prolongado al aire libre
201-300	Muy insalubre	Advertencias sanitarias de situaciones de emergencia. Es más probable que toda la población se vea afectada.	Los niños y adultos activos, y las personas con enfermedades respiratorias, como asma, deben evitar todo esfuerzo al aire libre; todos los demás, especialmente los niños, deben limitar el esfuerzo al aire libre.
300+	Peligroso	Alerta de salud: todos pueden experimentar efectos de salud más graves	Todos deben evitar todo esfuerzo al aire libre

Nota. Tomado de: AQICN (2015).

2.16. Red de monitoreo atmosférico en el DMQ

2.16.1. Equipamiento de la REMMAQ

La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) nos brinda valores veraces acerca de las concentraciones de los distintos contaminantes atmosféricos en el DMQ que permiten la elaboración, cumplimiento y valoración de políticas encaminadas a la mejora de la calidad del aire y dar a conocer detalladamente la información a la comunidad de manera práctica y sencilla (Secretaría de Ambiente, 2021b).

Según (Secretaría de Ambiente, 2021b) existen nueve estaciones de monitoreo para proceder a un análisis automático y continuo de los contaminantes más comunes del aire que son los siguientes :

- ✓ Monóxido de carbono (CO).
- ✓ Dióxido de azufre (SO₂).
- ✓ Óxidos de nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x).
- ✓ Ozono (O₃).
- ✓ Material particulado fino o de diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM_{2,5}) y menor a 10 micrómetros (PM₁₀).

Tabla 3

Ubicación de las estaciones de la red atmosférica del DMQ

CÓDIGO	NOMBRE	ALTITUD(MSNM)	DIRECCIÓN
COT	COTOCOLLAO	2770	Museo Cotocollao (santa teresa #70-121 entre Ignacio Loyola y Alfonso del hierro)
CAR	CARAPUNGO	2851	Edificio Andinatel Carapungo (super manzana b, el Verjel s/n)
BEL	BELISARIO	2835	terraza del edificio administrativo del colegio San Gabriel (av. América 3541)
JIP	JIPIJAPA	2781	Patio de la dirección metropolitana ambiental (río coca 1731 e isla fernandina)
CAM	EL CAMAL	2840	Terraza del Hosp. patronato municipal San José del sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)
CEN	CENTRO	2820	Terraza de la radio municipal (ex hogar Javier, García Moreno 751 y sucre)
GUA	GUAMANÍ	2887	Tumbaco
TUM	TUMBACO	2331	Terraza de Andinatel (Gaspar de Carvajal)
LCH	LOS CHILLOS	2453	Terraza de Andinatel (av. Ilaló, vía el tingo)

Nota. Tomado de: (Secretaría de Ambiente, 2021b).

Tabla 4
Principio de operación

CONTAMINANTE	NÚMERO EQUIPOS	UBICACIÓN	MÉTODO DE MEDIDA O PRINCIPIO DE OPERACIÓN
Material particulado pm10	4	TUM, GUA, CAR, SAP	Atenuación de rayos beta (método equivalente para pm10 epa no. eqpm-1102-150)
Material particulado PM2,5	6	BEL, CAM, CEN, COT, CAR, SAP	Atenuación de rayos beta (método equivalente para pm10 epa no. eqpm-1102-150)
Dióxido de azufre (So2)	7	BEL, CAM, CEN, TUM, COT, CAR, CHI	Fluorescencia por pulsos de luz ultravioleta (método equivalente epa no. eqsa-0486-060)
Dióxido de azufre (SO2)	2	LABORATORIO ESTÁNDARES, E. MÓVIL	Fluorescencia ultravioleta (método equivalente epa no. eqsa-0495-0100)
Ozono (O3)	10	BEL, CAM, CEN, TUM, CHI, COT, CAR, GUA, JIP, LAB. ELECTRÓNICO	Absorción de luz ultravioleta (método equivalente epa no. eqoa-0880-047)
Ozono (O3)	2	LABORATORIO ESTÁNDARES, E. MÓVIL	Absorción de luz ultravioleta (método equivalente epa no. eqoa-0992-087)
Óxidos de nitrógeno (NOx)	8	BEL, CAM, CEN, COT, CAR, GUA, JIP, CHI	Quimiluminiscencia método de referencia epa no. rfna-1289-074)
Óxidos de nitrógeno (NOx)	2	LABORATORIO ESTÁNDARES, E. MÓVIL	Quimiluminiscencia (método de referencia epa no. rfna-1194-099)
Monóxido de carbono (CO)	8	BEL, CAM, CEN, COT, CAR, GUA, JIP, LAB. ELECTRÓNICO	Absorción infrarroja no dispersiva (método de referencia epa no. rfca-0981-054)

Nota. Tomado de: (Secretaría de Ambiente, 2021b).

2.17. Meteorología

La meteorología es la rama de la física que se encarga del estudio de factores atmosféricos y sus respectivas magnitudes entre las cuales se destacan la temperatura, presión atmosférica, humedad, las mismas que varían con respecto al tiempo y al lugar (Jiménez et al., 2004).

2.17.1. Temperatura

La temperatura se considera un indicativo del nivel de calor que se transmite de un cuerpo hacia otro cuerpo con menor temperatura (Andrades Rodríguez y Muñoz León, 2012).

El DMQ está dentro de una elevación de 2850 msnm y posee una temperatura promedio anual de 14.78 °C (Guzmán Rodríguez, 2018).

2.17.2. Humedad

“La humedad es la cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera y la máxima que podría contener (%)” (Andrades Rodríguez y Muñoz León, 2012, pp 43).

Debido a su ubicación con relieves, el DMQ posee una humedad relativa promedio del 75% (Guzmán Rodríguez, 2018).

2.17.3. Viento

El aire provoca diferencias de presiones en distintos lugares con una dirección y velocidad establecida a lo cual se lo conoce como viento (Andrades Rodríguez y Muñoz León, 2012).

En el DMQ existen vientos alisios los cuales provocan algunas precipitaciones en la mayor parte de los meses del año (Guzmán Rodríguez, 2018).

2.17.4. Radiación solar

Es considerada como la compilación de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol hacia la superficie terrestre (Andrades Rodríguez y Muñoz León, 2012).

En el DMQ al poseer una altura aproximada de 2850 msnm y al estar situada en la línea ecuatorial su radiación solar es de forma perpendicular y sin ángulos de incidencia durante los distintos meses del año (Guzmán Rodríguez, 2018).

2.17.5. Precipitación

La precipitación abarca ciertos procesos como son la condensación o congelación que al combinarse forman gotas de agua o cristales de hielo los cuales al incrementar de tamaño caerán hacia la superficie terrestre (Andrades Rodríguez y Muñoz León, 2012).

En el DMQ existen precipitaciones en la mayor parte del año en los meses de octubre a mayo siendo abril el mes con mayor cantidad de precipitaciones (Guzmán Rodríguez, 2018).

2.18. Climatología

La climatología es la rama de la geología que se encarga del estudio del clima y de diversas actividades como los recursos hídricos, el clima es el estudio de las condiciones meteorológicas en un tiempo y lugar establecido (Organización Meteorológica Mundial, 2018).

Según (Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, 2008) el DMQ tiene distintos tipos de clima que son:

- ✓ Tropical lluvioso
- ✓ Tropical megatérmico muy húmedo

- ✓ Tropical megatérmico húmedo
- ✓ Subtropical mesotérmico lluvioso
- ✓ Subtropical mesotérmico húmedo
- ✓ Subtropical mesotérmico semi-húmedo
- ✓ Subtropical mesotérmico seco
- ✓ Ecuatorial mesotérmico seco
- ✓ Ecuatorial frío húmedo
- ✓ Ecuatorial frío semi-húmedo
- ✓ Páramo
- ✓ Nival

Encontrando de esta manera que el clima predominante en la zona del Camal Metropolitano es el Ecuatorial mesotérmico muy húmedo en el cual presenta precipitaciones por encima a los 2000 mm y a temperaturas entre los 12 y 18°C anualmente, por otra parte el clima que encontramos en el sector de Tumbaco es el Ecuatorial mesotérmico semi-húmedo con una precipitación entre los 500 y 1000 mm y una temperatura entre los 12 y 18°C anualmente (Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito, 2008).

2.19. Consumo de combustible, inventario de emisiones de contaminantes criterio y parque automotor

Para el año 2011 en el DMQ según la Malla del Inventario, se toma en cuenta los datos calóricos puros de la gasolina 44.3 TJ/103t, diésel 41,8 TJ/103t y el gas 47.3 TJ/103t, EPPetroecuador afirma

que la demanda energética en el DMQ es principalmente por gasolina y diésel siendo el transporte el mayor consumo energético y el uso doméstico el de menor consumo (Baca, 2014).

Según (Baca, 2014, pp 7), la clasificación de combustibles en el DMQ son:

- ✓ Gasolina Extra
- ✓ Gasolina Súper
- ✓ Diésel Premium
- ✓ Diésel
- ✓ Diésel Eléctrico
- ✓ Bunker
- ✓ GLP
- ✓ Madera

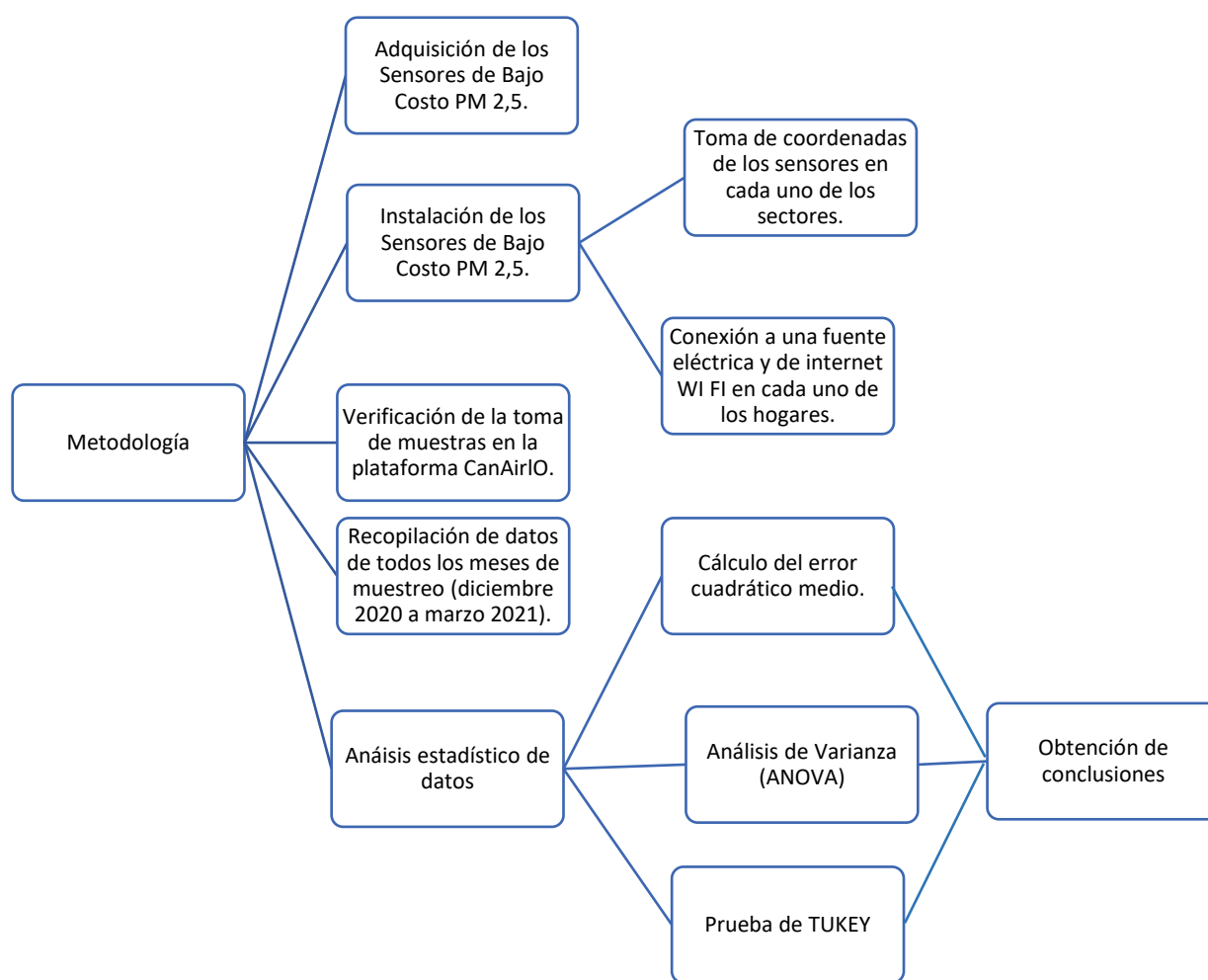
El parque automotor en la provincia de Pichincha representa en mayor porcentaje al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) con un el 89% de vehículos, el incremento del parque automotor se debe al aumento poblacional en los últimos años, según el censo del año 2010 y las estimaciones del INEC en el DMQ cuenta con 2'781.641 habitantes para el año 2020. Es decir, en esta última década la población quiteña creció en 24,2% mientras que el parque automotor lo hizo en un 79%, más del triple (Lucero, 2020).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diagrama de flujo

Figura 2

Diagrama de flujo



Nota. Fuente: La investigación.

3.2. Equipos y materiales

En el presente trabajo de investigación se utilizó sensores PM2,5 de bajo costo que pueden trabajar según conveniencia de forma móvil o fija, además se han recopilado los datos registrados por las estaciones de la Red Metropolitana Ambiental de calidad de aire y de las estaciones meteorológicas del Distrito Metropolitano de Quito. El trabajo se realizó durante los meses de diciembre 2020 a Marzo 2021 y estuvo enfocado en las estaciones de Tumbaco y El Camal Metropolitano alrededor de las cuales se colocaron 4 sensores de bajo costo por cada estación.

3.3. Fase de campo

Tabla 5

Equipos y materiales utilizados

Equipo y materiales para monitoreo	Marca	Modelo
Sensor de bajo costo para PM2,5	Sensirion	SPS30
GPS (móvil)	-----	-----
Adaptador USB para tomada de 110v	-----	-----

Nota. Fuente: La investigación.

Tabla 6

Plataformas

Plataformas utilizadas	Nombres
App para Android	CanAirIO
PlatformIO (compatible con Arduino) o software	Espressif solo para Windows

Nota. Fuente: La investigación.

3.4. Monitoreo y Obtención de datos (valores de PM 2,5)

Los datos obtenidos mediante los sensores utilizados se cargaron automáticamente a la plataforma digital para sensores de bajo costo de la organización de ciencia ciudadana Canair.io que, en base a sus objetivos ofrecen la posibilidad a diferentes tipos de usuarios con diferente experticia en los temas de contaminación de aire, para cargar automáticamente los datos registrados mediante los sensores de bajo costo vía internet. Una vez que los datos de los sensores se registran automáticamente en esta plataforma pueden ser visualizados por cualquier usuario a nivel mundial y también pueden ser descargados para su posterior análisis. Además, se descargaron los datos de la (REMMAQ) de PM_{2,5} y datos meteorológicos para realizar diferentes comparaciones y relaciones.

El método de monitoreo utilizado por este tipo de sensores se basa en un “principio de difracción láser y de algoritmos avanzados que permiten obtener mediciones precisas de concentración de masa ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) y de número (número de partículas/ m^3) para diferentes tipos de polvo y otras partículas”(SOS Electronic, 2018).

3.4.1. Sensor de marca Sensirion modelo SPS30 para PM_{2,5}.

El sensor de material particulado SPS30 utiliza un rayo láser enfocado para iluminar la muestra entrante de aire, que es controlado por un ventilador. La luz dispersada por las partículas en la corriente de aire se recoge en un fotodiodo que convierte la intensidad de la luz en una señal eléctrica. Utilizando algoritmos patentados, el sensor de material particulado SPS30 convierte la señal eléctrica en varias masas y numerosas salidas de concentración, incluso con un pequeño flujo de aire de muestra (debido al diseño miniaturizado) y un corto tiempo de medición. El sistema de monitoreo utiliza tecnología

única de resistencia a la contaminación para que se mantenga la óptica limpia y sin mantenimiento durante toda su vida útil.(Gmbh y Service, 2010, pp. 4)

El hardware con el que trabajan este tipo de equipos es Arduino que tiene entre sus características capturar señales del medio. “Para poder desarrollar aplicaciones y programar el microcontrolador de la placa se utiliza el Arduino Software (IDE), el cual provee el compilador, librerías, y drivers necesarios para correr aplicaciones de usuario”.(Marciszack Campoli Ezequiel, 2016, pp. 13)

Poseen una certificación Mcerts implementada para monitores de partículas ambientales indicativos cuyos analizadores de monitoreo de polvo se pueden operar de dos maneras para mediciones cualitativas y para mediciones cuantitativas.(CSA/Group, 2020)

También se utilizó la aplicación CanAirIO para realizar la programación de los equipos los mismos que reflejan la información tomada en una plataforma digital que es el servidor influxdb en la cual encontramos los datos de PM2,5 de las zonas escogidas como son El Camal Metropolitano y Tumbaco sitios en los cuales se encuentran las estaciones de estudio.

Para evitar que los sensores utilizados estén expuestos a la intemperie se los protegió con una estructura de madera.

3.5. Puntos de monitoreo

En esta fase de monitoreo fueron seleccionados 4 puntos cercanos a la estación de Tumbaco así también como 4 puntos cercanos a la estación de El Camal Metropolitano las cuales representan las estaciones de estudio. Los criterios que se tomaron en consideración para la ubicación de los monitores son: distancia progresiva con respecto a las estaciones fijas, disponibilidad de energía eléctrica y conectividad wifi.

La georreferenciación de los puntos seleccionados es la siguiente.

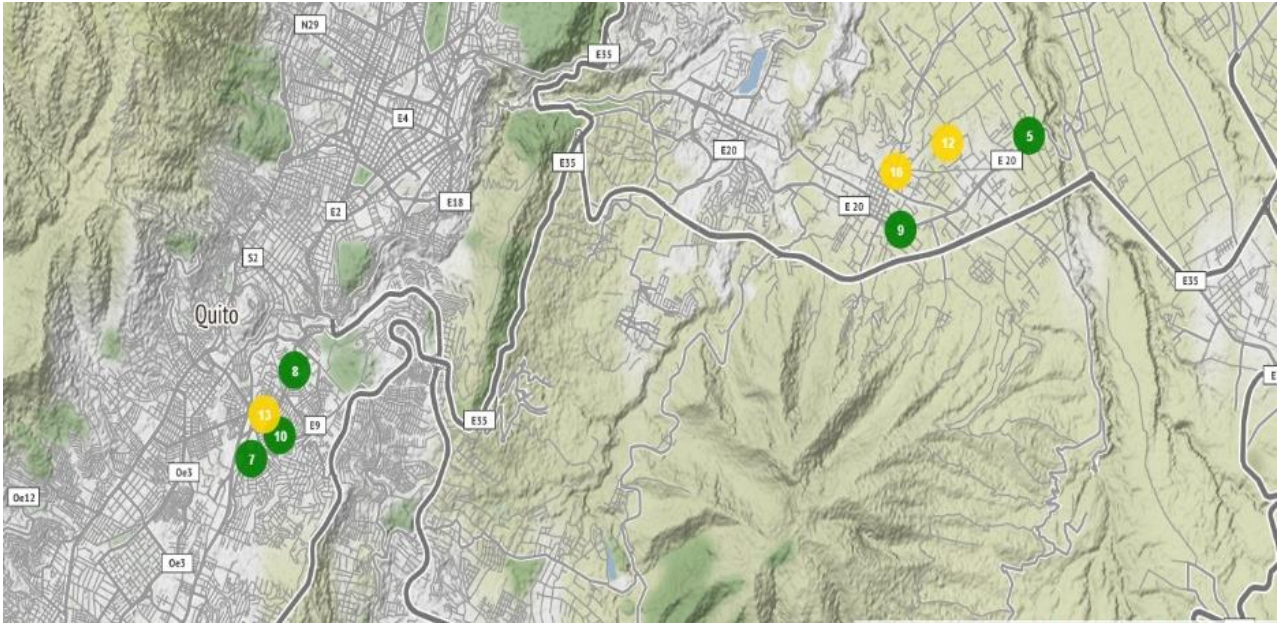
Tabla 7
Puntos de monitoreo

PUNTOS DE MONITOREO	UBICACIÓN	COORDENADAS	DISTANCIA A LA RED DMQ
PM2,5_ECU_QUI_ElCamal_E01_MP	Calle Alonso Gómez y Juan del Río	-0.24888575, -78.51346269	405,44 m
PM2,5_ECU_QUI_ElCamal_E02_MB	Avenida Napo y El Corazón	-0.24565942, -78.51628706	848,96 m
PM2,5_ECU_QUI_ElCamal_E03_EG	Avenida Andrés Pérez y Mac Donald	-0.2524544, -78.51865713	1,03 km
PM2,5_ECU_QUI_ElCamal_E04_FB	Calle Upano y Cutuchi	-0.23887483, -78.51076875	1,23 km
PM2,5_ECU_QUI_Tumbaco_E05_EV	Cecilio Loza, Tumbaco, Pichincha, Quito	-0.204007, -78.391739	2,6 km
PM2,5_ECU_QUI_Tumbaco_E06_EY	Río Agoyan, Tumbaco, Quito, Pichincha	-0.202917, -78.376875	4,6 km
PM2,5_ECU_QUI_Tumbaco_E07_CE	Gonzalo Pizarro, Tumbaco, Quito, Pichincha	-0.208379, -78.401149	600 m
PM2,5_ECU_QUI_Tumbaco_E08_DY	Calle Carchi, Tumbaco, Quito, Pichincha	-0.217295, -78.400274	300m

Nota. Fuente: La investigación.

Por otra parte, además de obtener las coordenadas respectivas de cada uno de los puntos de monitoreo estos fueron ubicados en un mapa digital de una plataforma electrónica llamada Daquina en la cual en específico encontraríamos los 8 puntos señalados en dónde estarán ubicadas dentro del Distrito Metropolitano de Quito Figura 3.

Figura 3
Puntos de monitoreo dentro del DMQ



Nota. Tomado de: (CanAirlO, 2020).

3.6. Recopilación de datos

Los datos fueron obtenidos de forma diaria con intervalos de tiempo de 10 min, y cada hora se obtuvo un valor promedio. Esto se realizó debido a que las estaciones de la RENMAQ generan los datos por hora.

3.7. Análisis estadístico de datos:

3.7.1. Cálculo del error cuadrático medio (RMSE)

Los datos obtenidos fueron ordenados de manera diaria y por hora de cada uno de los meses que fueron monitoreados obteniendo una lectura promedio de cada hora de: PM2,5, humedad relativa y temperatura, permitiéndonos aplicar el método estadístico (RMSE) que nos ayuda a determinar la magnitud del error que existiría entre el conjunto de datos establecidos como reales y predichos, tomando como datos reales a los obtenidos por la (REMMAQ) y como datos predichos a los obtenidos en las lecturas de los sensores de bajo costo.

Para realizar los cálculos correspondientes al (RMSE) y determinar el error medio existente entre los datos reales y predichos se utilizó la Ecuación 1 que representa la raíz cuadrada de la suma de datos que se obtuvieron de la diferencia entre valores de PM2,5 reales y predichos eso elevado al cuadrado y dividido para el número de datos.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

3.7.2. Cálculo de análisis de varianza (ANOVA)

La técnica de análisis de varianza usado es el ANOVA en el cual nos permite comparar las medias obtenidas por los sensores de bajo costo como la red de monitorio del DMQ en el cual queremos constatar si existe diferencias entre las distintas medias en dónde el nivel de significancia es de 0,05 o 5% lo que nos indica un 95 % de confianza.

3.7.3. Cálculo de la prueba de TUKEY

Una vez comprobado la diferencia entre las medias de los sensores se procede al análisis más detallado en el cual se realizó la prueba de TUKEY para poder evidenciar cuál de las medias de los sensores y la red es diferente entre sí.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTACIÓN REMMAQ “CAMAL METROPOLITANO” Y SENSORES

4.1.1. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 8

Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E01_MP)

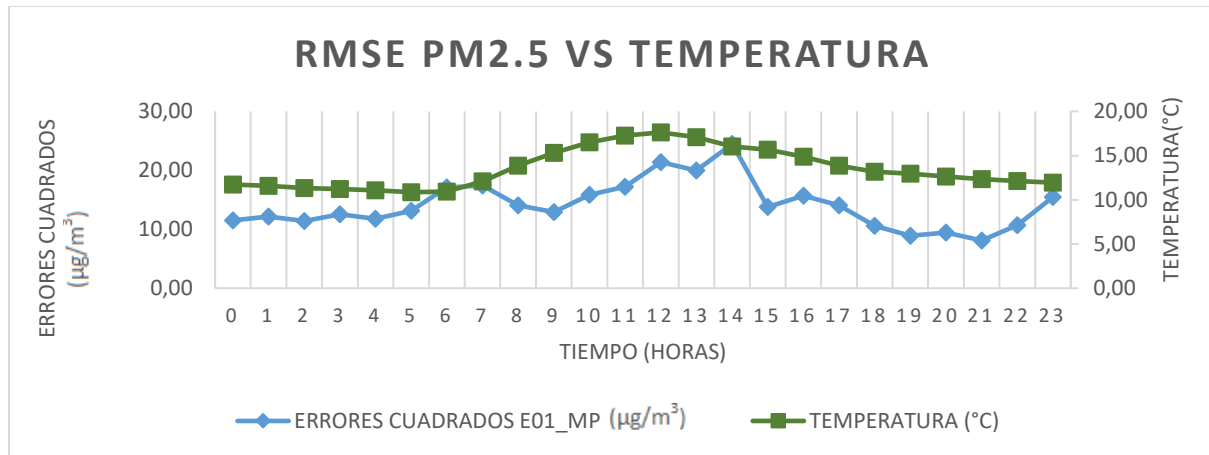
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,48	11,73	87,12
1	12,14	11,60	87,25
2	11,42	11,34	88,17
3	12,54	11,23	87,95
4	11,81	11,06	87,92
5	13,11	10,86	88,25
6	17,10	10,94	87,85
7	17,42	12,08	82,44
8	14,09	13,85	73,74
9	12,90	15,30	66,74
10	15,83	16,52	61,81
11	17,22	17,26	58,25
12	21,39	17,62	56,62
13	19,99	17,10	59,10
14	24,47	16,05	65,18
15	13,78	15,67	66,29
16	15,69	14,87	69,57
17	14,04	13,87	75,37
18	10,60	13,17	78,75
19	8,92	12,96	79,68
20	9,45	12,64	82,39
21	8,11	12,35	84,93
22	10,71	12,13	86,00
23	15,45	11,96	86,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E01_MP junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 4 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con 16,05 °C y a las 12:00 horas con 17,62 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E01_MP y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 4

RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP)

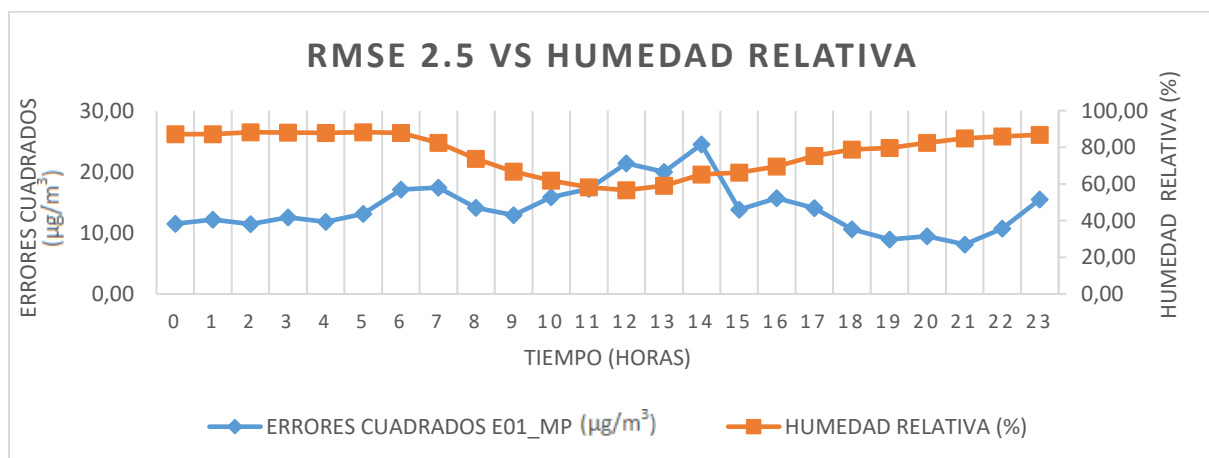


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 5 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con el 65,18 % HR y a las 12:00 horas con el 56,62 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E01_MP y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 5

RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.2. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 9

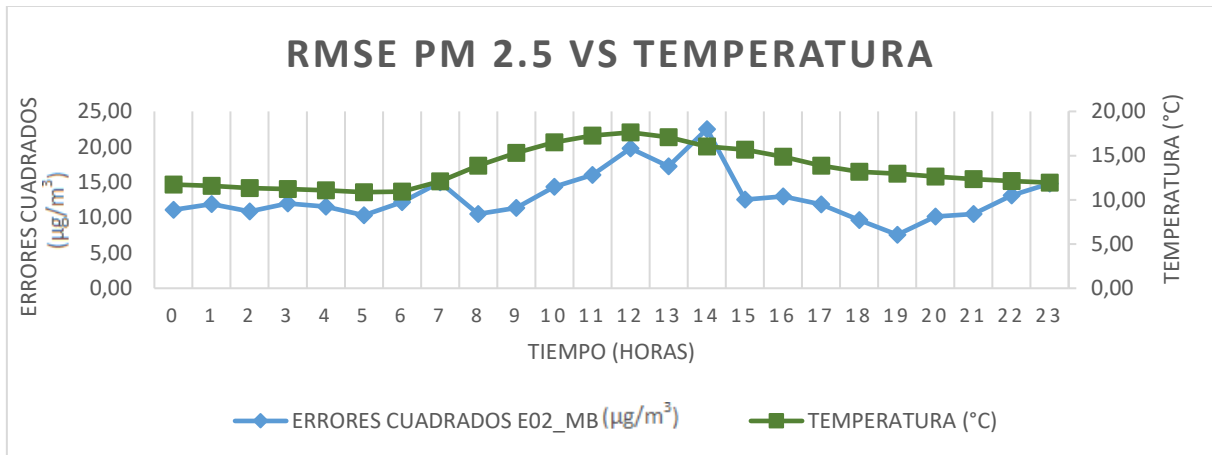
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,08	11,73	87,12
1	11,90	11,60	87,25
2	10,88	11,34	88,17
3	11,98	11,23	87,95
4	11,54	11,06	87,92
5	10,33	10,86	88,25
6	12,19	10,94	87,85
7	15,00	12,08	82,44
8	10,51	13,85	73,74
9	11,37	15,30	66,74
10	14,35	16,52	61,81
11	16,01	17,26	58,25
12	19,76	17,62	56,62
13	17,25	17,10	59,10
14	22,50	16,05	65,18
15	12,52	15,67	66,29
16	12,99	14,87	69,57
17	11,85	13,87	75,37
18	9,65	13,17	78,75
19	7,56	12,96	79,68
20	10,15	12,64	82,39
21	10,49	12,35	84,93
22	13,11	12,13	86,00
23	14,80	11,96	86,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E02_MB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 6 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con 16,05 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E02_MB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

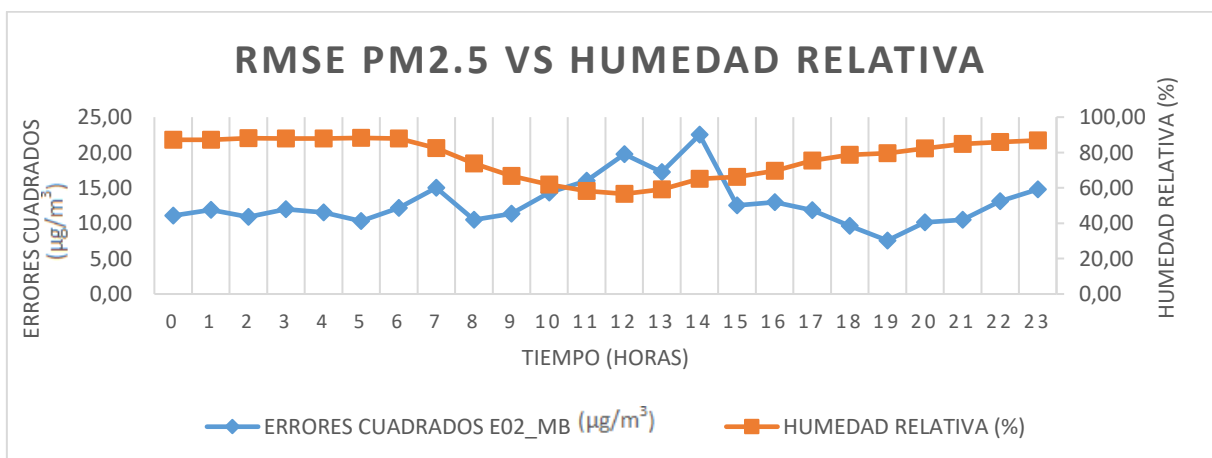
Figura 6
RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 7 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE, a las 14:00 horas con el 65,18 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E02_MB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 7
RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.3. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 10

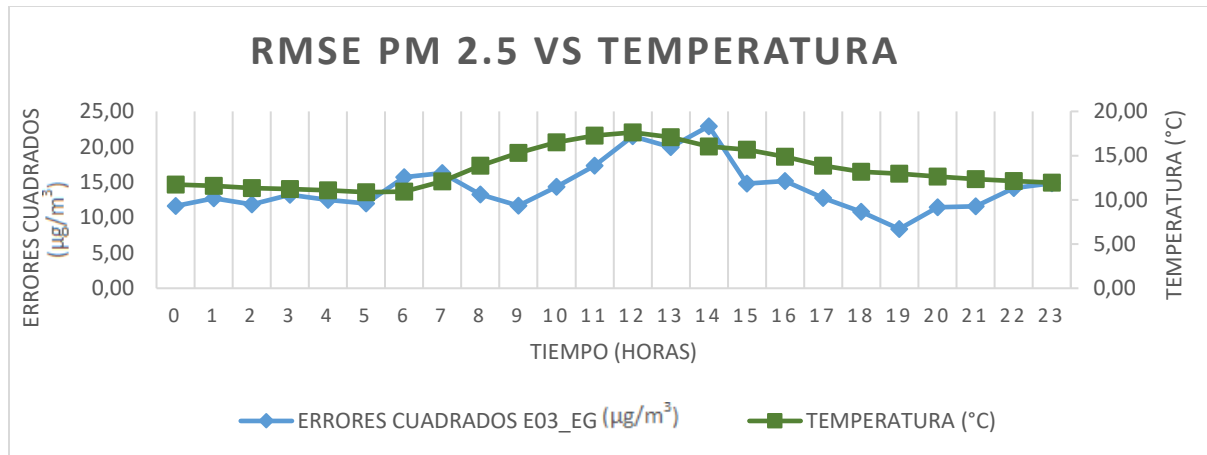
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E03_EG)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E03_EG (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,64	11,73	87,12
1	12,72	11,60	87,25
2	11,85	11,34	88,17
3	13,20	11,23	87,95
4	12,49	11,06	87,92
5	12,00	10,86	88,25
6	15,72	10,94	87,85
7	16,30	12,08	82,44
8	13,24	13,85	73,74
9	11,67	15,30	66,74
10	14,36	16,52	61,81
11	17,34	17,26	58,25
12	21,49	17,62	56,62
13	19,95	17,10	59,10
14	22,91	16,05	65,18
15	14,79	15,67	66,29
16	15,15	14,87	69,57
17	12,74	13,87	75,37
18	10,83	13,17	78,75
19	8,38	12,96	79,68
20	11,43	12,64	82,39
21	11,57	12,35	84,93
22	14,14	12,13	86,00
23	14,82	11,96	86,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E03_EG junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 8 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con 16,05 °C y a las 12:00 horas con 17,62 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E03_EG y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

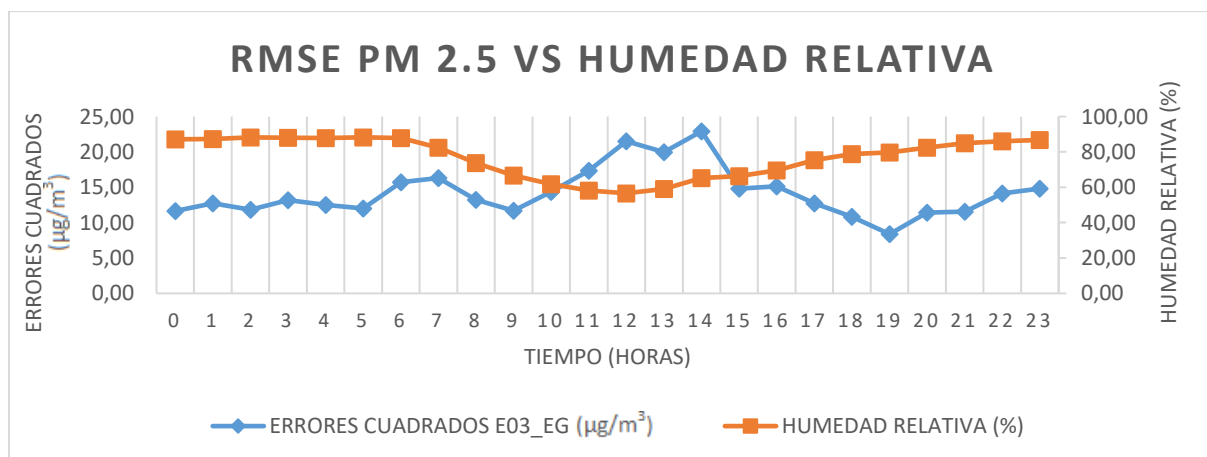
Figura 8
RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 9 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con el 65,18 % HR y a las 12:00 horas con el 56,62 % HR, lo que quiere decir que, generalmente a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E03_EG y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 9
RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.4. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 11

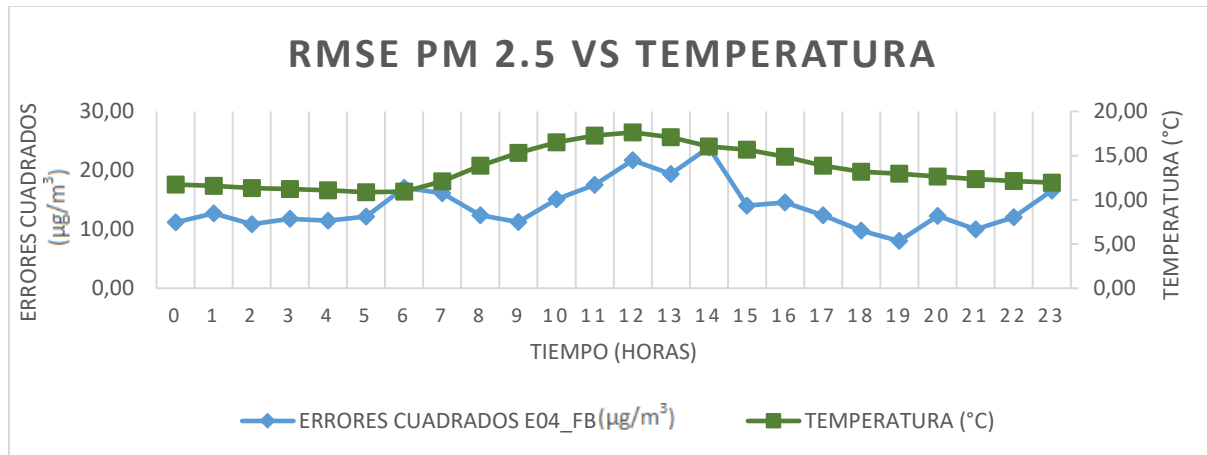
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E04_FB)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E04_FB (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,18	11,73	87,12
1	12,68	11,60	87,25
2	10,85	11,34	88,17
3	11,76	11,23	87,95
4	11,48	11,06	87,92
5	12,15	10,86	88,25
6	17,06	10,94	87,85
7	16,11	12,08	82,44
8	12,39	13,85	73,74
9	11,26	15,30	66,74
10	15,11	16,52	61,81
11	17,53	17,26	58,25
12	21,70	17,62	56,62
13	19,36	17,10	59,10
14	23,88	16,05	65,18
15	14,02	15,67	66,29
16	14,58	14,87	69,57
17	12,36	13,87	75,37
18	9,79	13,17	78,75
19	8,01	12,96	79,68
20	12,27	12,64	82,39
21	10,00	12,35	84,93
22	12,08	12,13	86,00
23	16,56	11,96	86,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E04_FB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 10 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con 16,05 °C y a las 12:00 horas con 17,62 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E04_FB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

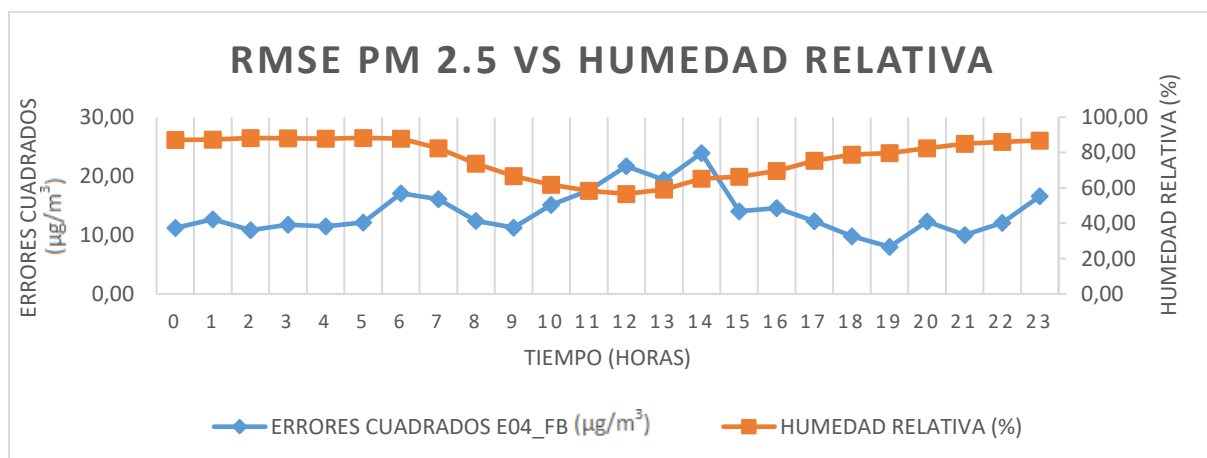
Figura 10
RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 11 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 14:00 horas con el 65,18 % HR y a las 12:00 horas con el 56,62 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E04_FB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 11
RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.1.5. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE DICIEMBRE AÑO 2020 DE LOS
SENSORES E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.**

Tabla 12

Medias mes de diciembre 2020

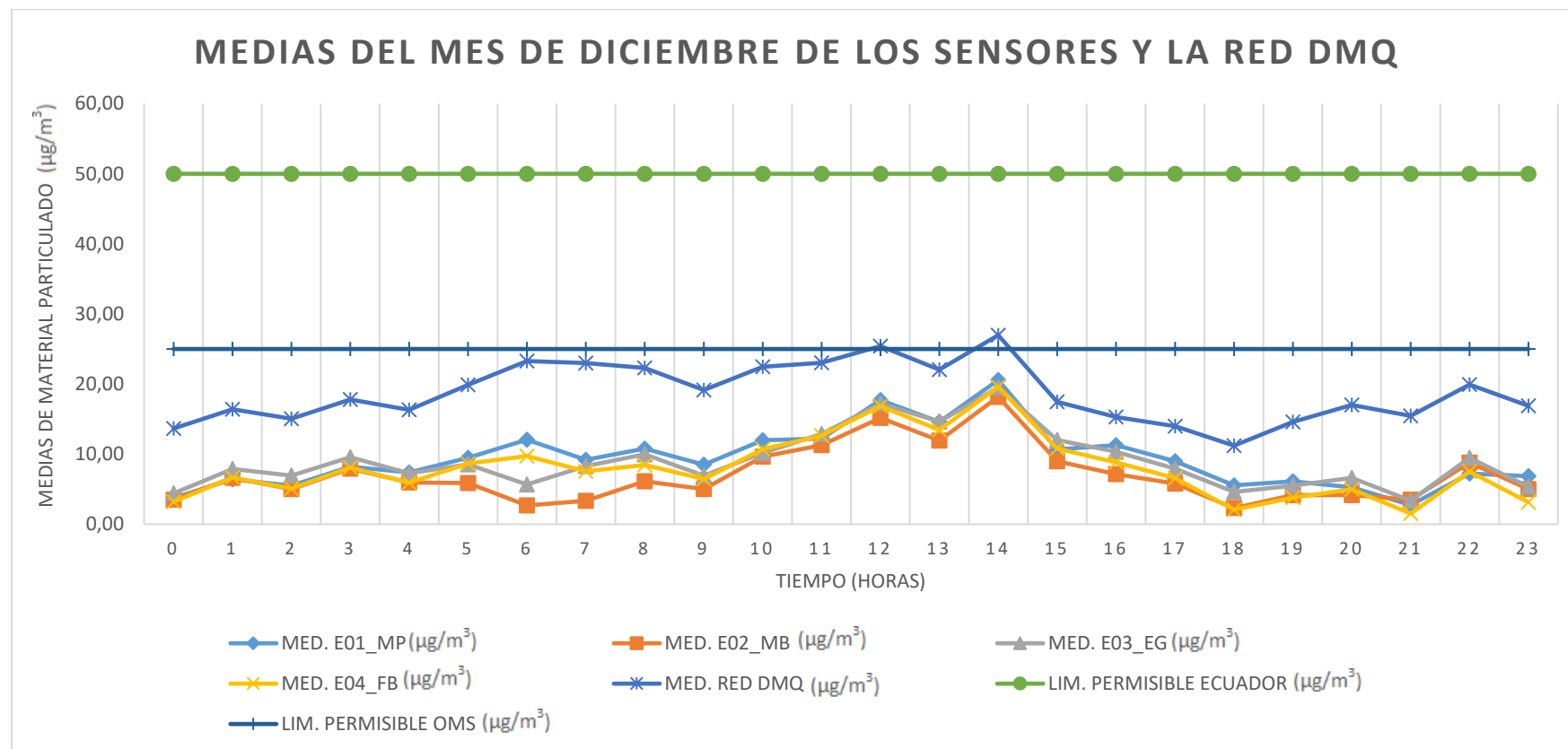
TIEMPO (HORAS)	MED. E01_MP (µg/m³)	MED. E02_MB (µg/m³)	MED. E03_EG (µg/m³)	MED. E04_FB (µg/m³)	MED. RED DMQ (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE OMS (µg/m³)
0	3,76	3,50	4,41	3,23	13,66	50,00	25,00
1	6,40	6,62	7,87	6,65	16,42	50,00	25,00
2	5,50	5,04	6,96	5,11	15,05	50,00	25,00
3	8,20	7,90	9,55	8,08	17,79	50,00	25,00
4	7,38	5,96	7,25	5,91	16,33	50,00	25,00
5	9,46	5,89	8,53	8,67	19,90	50,00	25,00
6	12,05	2,69	5,69	9,73	23,27	50,00	25,00
7	9,20	3,35	8,31	7,55	22,98	50,00	25,00
8	10,79	6,13	9,97	8,45	22,29	50,00	25,00
9	8,48	5,00	6,96	6,44	19,16	50,00	25,00
10	11,96	9,66	10,17	10,69	22,46	50,00	25,00
11	12,22	11,28	12,90	12,63	23,04	50,00	25,00
12	17,71	15,17	17,22	16,87	25,41	50,00	25,00
13	14,59	11,94	14,65	13,44	22,04	50,00	25,00
14	20,56	18,18	19,51	19,61	26,97	50,00	25,00
15	10,68	9,00	12,03	10,80	17,46	50,00	25,00
16	11,28	7,15	10,33	8,81	15,29	50,00	25,00
17	8,98	5,80	7,91	6,58	13,99	50,00	25,00
18	5,55	2,30	4,60	2,08	11,21	50,00	25,00
19	6,14	4,16	5,52	3,79	14,58	50,00	25,00
20	5,28	4,14	6,63	4,96	17,04	50,00	25,00
21	2,74	3,50	3,37	1,53	15,45	50,00	25,00
22	7,22	8,78	9,50	7,50	19,90	50,00	25,00
23	6,86	5,02	5,35	3,12	16,88	50,00	25,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 12 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 12

Medias de los sensores y red DMQ mes de diciembre



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.6. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 13

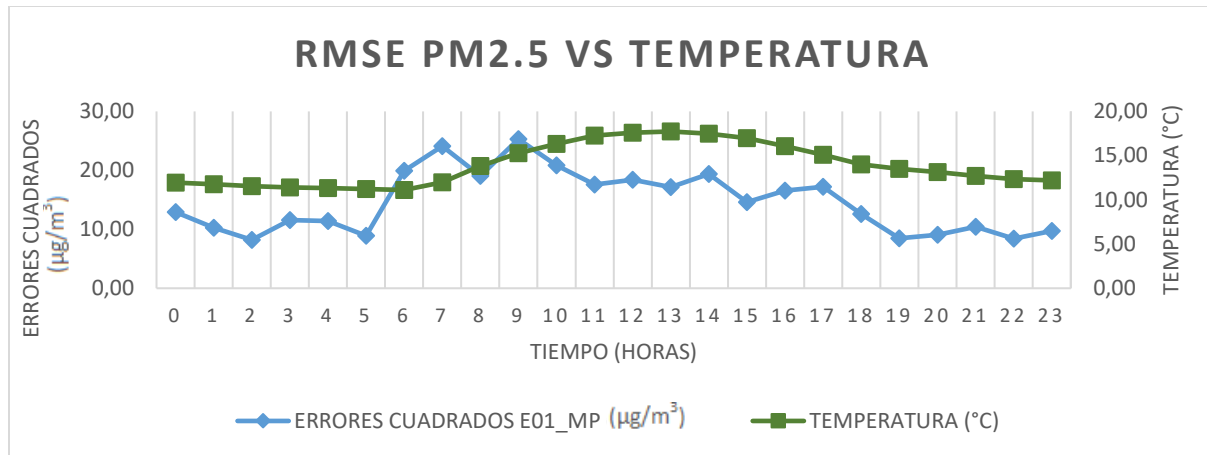
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	12,92	11,94	85,84
1	10,24	11,77	85,53
2	8,21	11,54	86,19
3	11,55	11,40	86,41
4	11,40	11,32	86,30
5	8,93	11,22	86,02
6	19,91	11,11	86,71
7	24,09	12,00	83,46
8	19,06	13,82	73,39
9	25,29	15,29	65,79
10	20,83	16,34	61,65
11	17,57	17,26	56,76
12	18,43	17,57	55,76
13	17,13	17,73	55,75
14	19,37	17,47	57,34
15	14,58	16,96	60,30
16	16,54	16,09	64,36
17	17,23	15,10	69,76
18	12,61	14,02	74,39
19	8,48	13,51	77,27
20	9,05	13,15	79,83
21	10,45	12,72	82,49
22	8,39	12,36	84,50
23	9,70	12,19	84,86

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E01_MP junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 13 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 9:00 horas con 15,29 °C y a las 7:00 horas con 12 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E01_MP y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

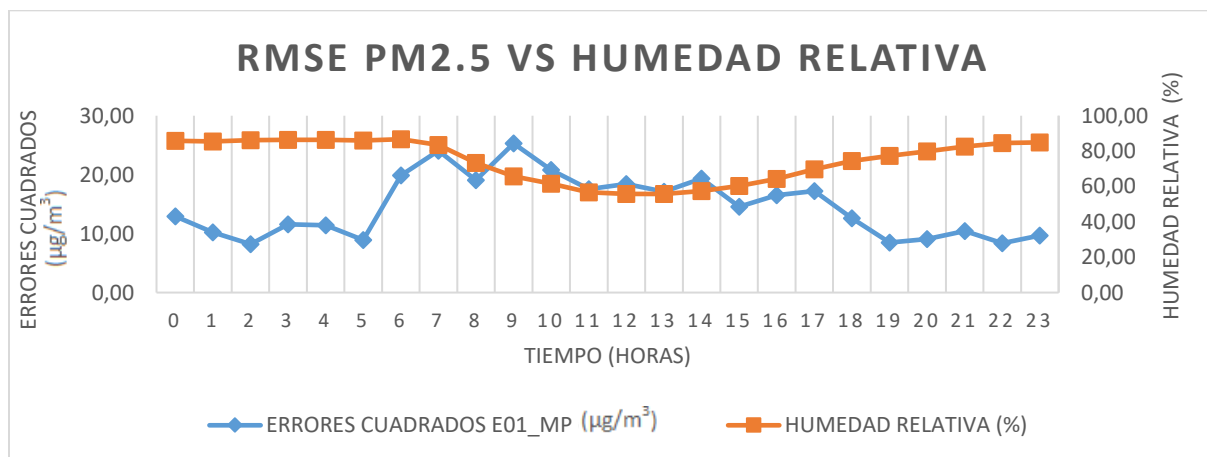
Figura 13
RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 14 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 9:00 horas con el 65,79% HR y a las 7:00 horas con el 83,46% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E01_MP y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 14
RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.7. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021

Tabla 14

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB)

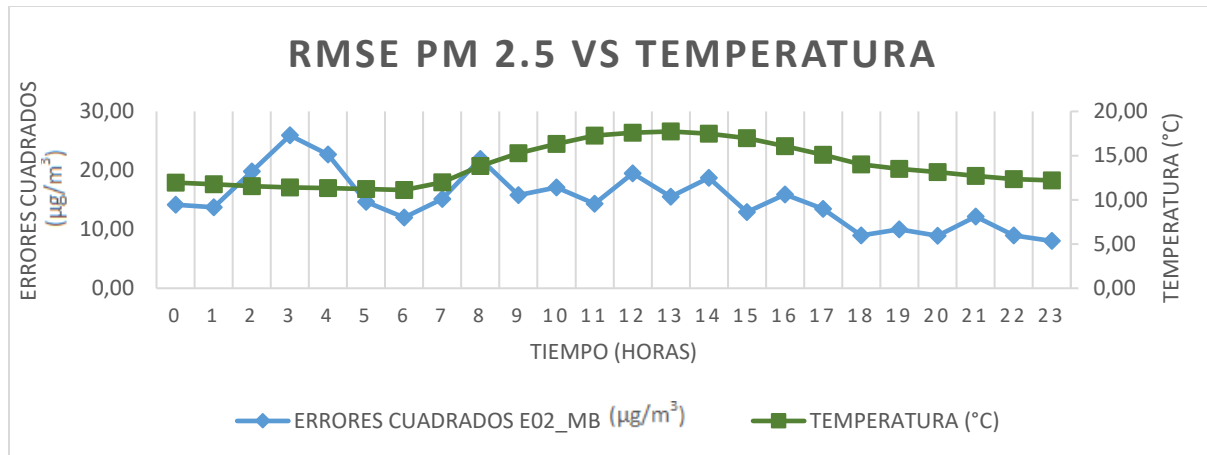
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	14,15	11,94	85,84
1	13,75	11,77	85,53
2	19,81	11,54	86,19
3	25,93	11,40	86,41
4	22,68	11,32	86,30
5	14,67	11,22	86,02
6	12,02	11,11	86,71
7	15,12	12,00	83,46
8	21,93	13,82	73,39
9	15,81	15,29	65,79
10	17,12	16,34	61,65
11	14,34	17,26	56,76
12	19,50	17,57	55,76
13	15,53	17,73	55,75
14	18,71	17,47	57,34
15	12,93	16,96	60,30
16	15,91	16,09	64,36
17	13,48	15,10	69,76
18	8,98	14,02	74,39
19	9,99	13,51	77,27
20	8,92	13,15	79,83
21	12,16	12,72	82,49
22	8,95	12,36	84,50
23	8,02	12,19	84,86

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E02_MB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 15 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 3:00 horas con 11,40 °C y a las 4:00 horas con 11,32 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E02_MB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 15

RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)

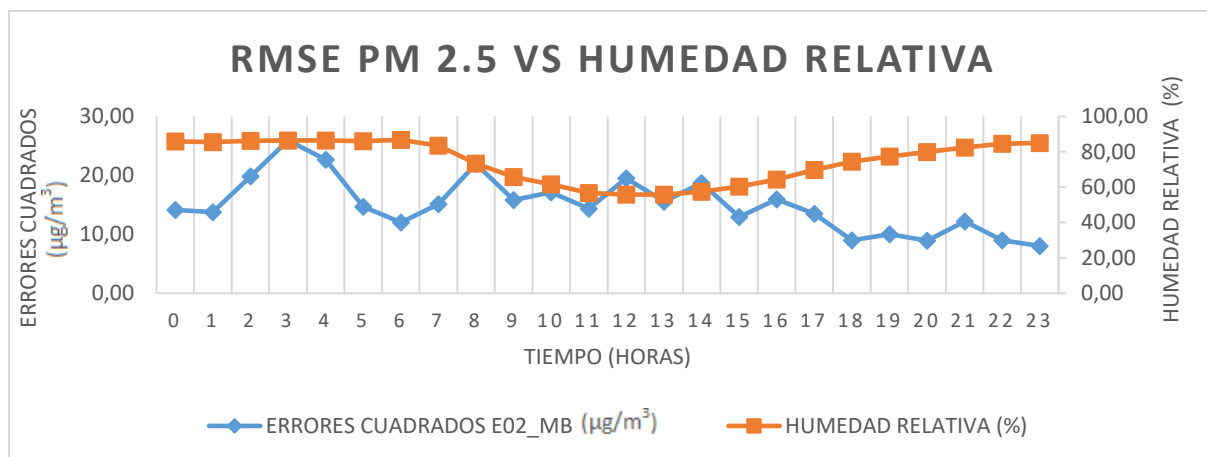


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la figura 16 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 3:00 horas con el 86,41% HR y a las 4:00 horas con el 86,30% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E02_MB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 16

RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.8. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 15

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG)

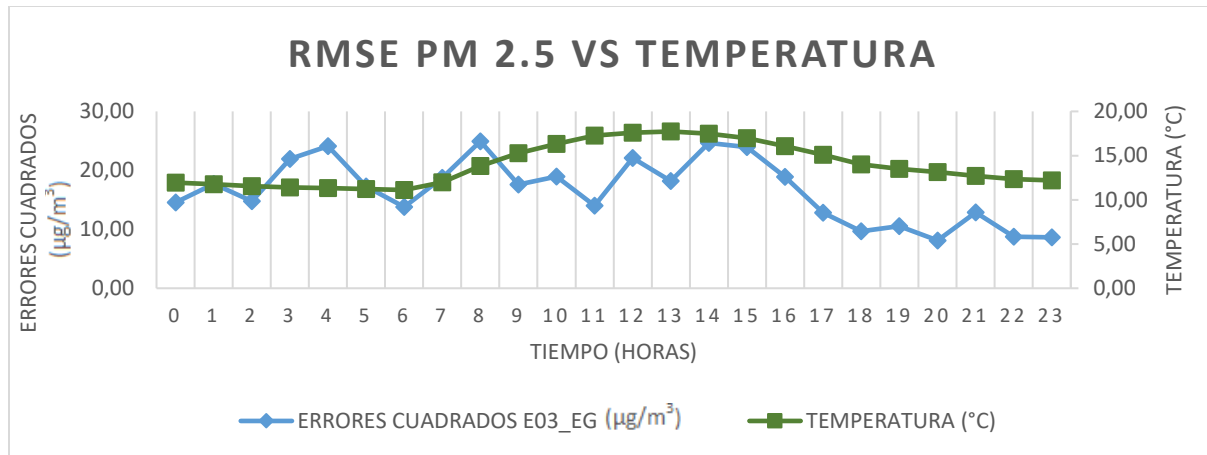
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	14,54	11,94	85,84
1	17,69	11,77	85,53
2	14,77	11,54	86,19
3	21,91	11,40	86,41
4	24,09	11,32	86,30
5	17,29	11,22	86,02
6	13,77	11,11	86,71
7	18,73	12,00	83,46
8	24,93	13,82	73,39
9	17,62	15,29	65,79
10	18,95	16,34	61,65
11	14,02	17,26	56,76
12	22,08	17,57	55,76
13	18,19	17,73	55,75
14	24,65	17,47	57,34
15	23,96	16,96	60,30
16	18,90	16,09	64,36
17	12,82	15,10	69,76
18	9,68	14,02	74,39
19	10,54	13,51	77,27
20	8,11	13,15	79,83
21	12,88	12,72	82,49
22	8,72	12,36	84,50
23	8,65	12,19	84,86

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E03_EG junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 17 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 8:00 horas con 13,82 $^{\circ}\text{C}$ y a las 14:00 horas con 17,47 $^{\circ}\text{C}$, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E03_EG y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 17

RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)

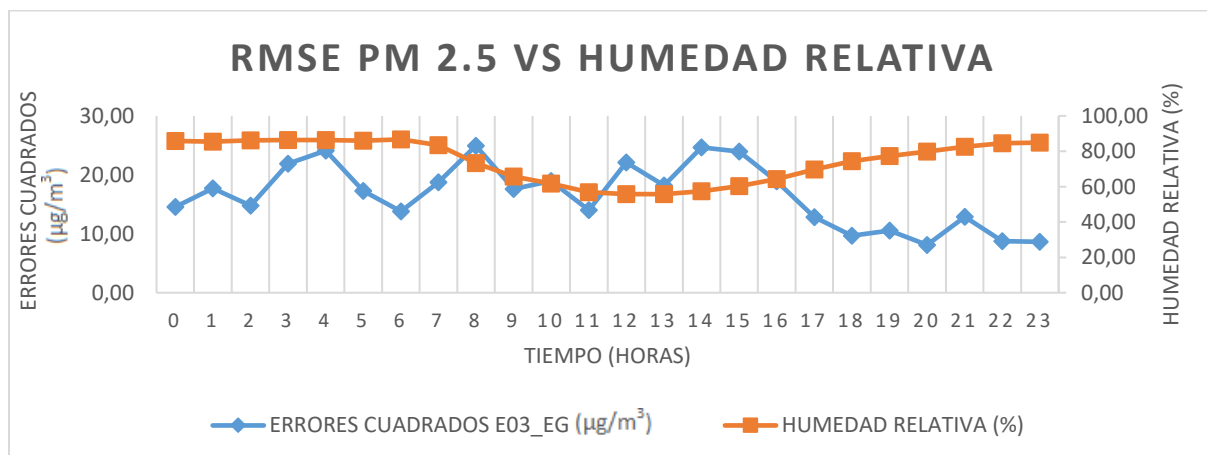


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 18 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 8:00 horas con el 73,39% HR y a las 14:00 horas con una humedad relativa el 57,34% HR lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E03_EG y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 18

RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.9. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 16

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)

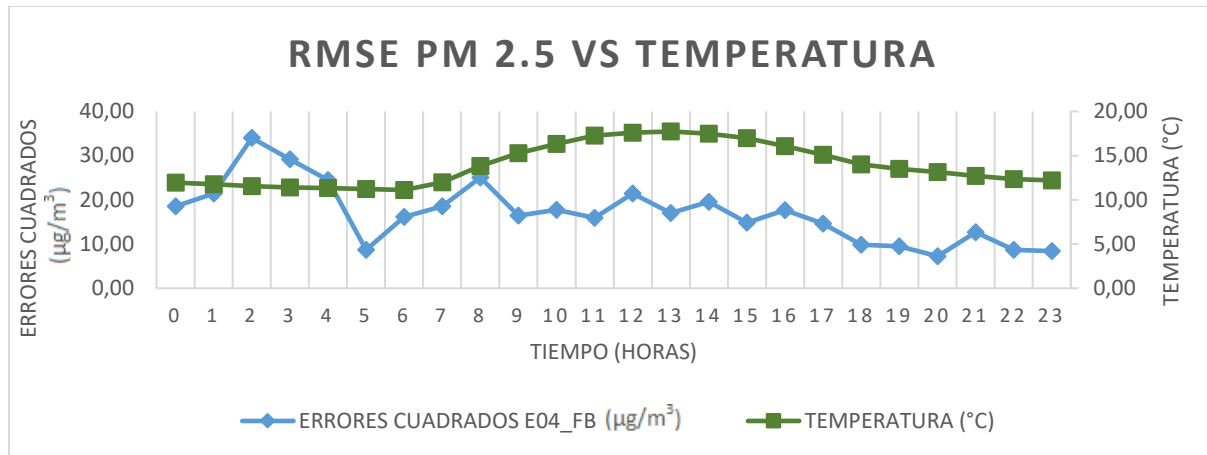
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	18,56	11,94	85,84
1	21,46	11,77	85,53
2	33,99	11,54	86,19
3	29,16	11,40	86,41
4	24,45	11,32	86,30
5	8,72	11,22	86,02
6	16,12	11,11	86,71
7	18,52	12,00	83,46
8	25,03	13,82	73,39
9	16,42	15,29	65,79
10	17,71	16,34	61,65
11	15,90	17,26	56,76
12	21,44	17,57	55,76
13	17,02	17,73	55,75
14	19,58	17,47	57,34
15	14,86	16,96	60,30
16	17,63	16,09	64,36
17	14,61	15,10	69,76
18	9,88	14,02	74,39
19	9,47	13,51	77,27
20	7,24	13,15	79,83
21	12,68	12,72	82,49
22	8,71	12,36	84,50
23	8,37	12,19	84,86

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E04_FB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 19 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 2:00 horas con 11,54 °C y a las 3:00 horas con 11,40 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E04_FB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 19

RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB)

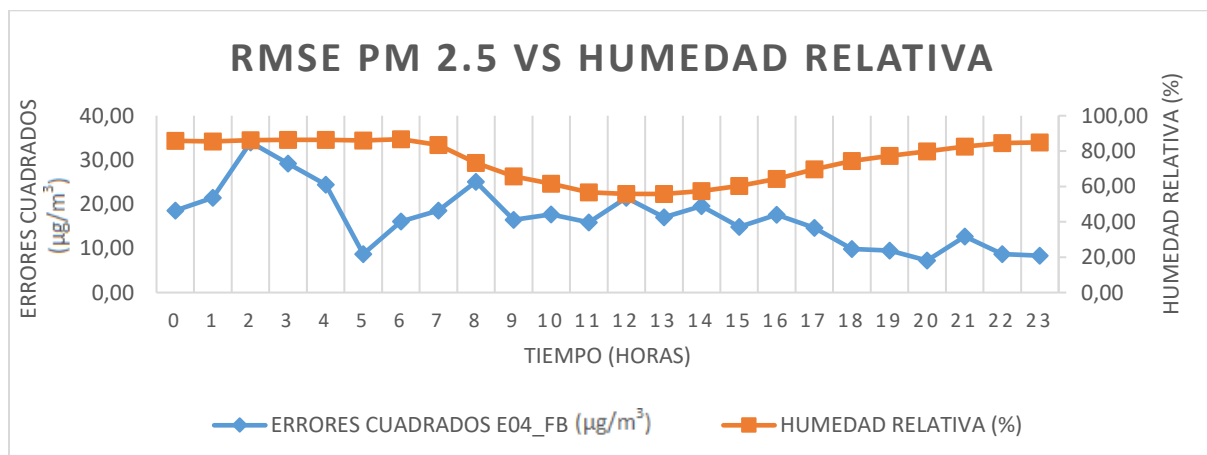


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 20 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 2:00 horas con el 86,19% HR y a las 3:00 horas con el 86,41% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E04_FB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 20

RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.1.10. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE ENERO AÑO 2021 DE LOS SENSORES
E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.**

Tabla 17

Medias mes de enero 2021

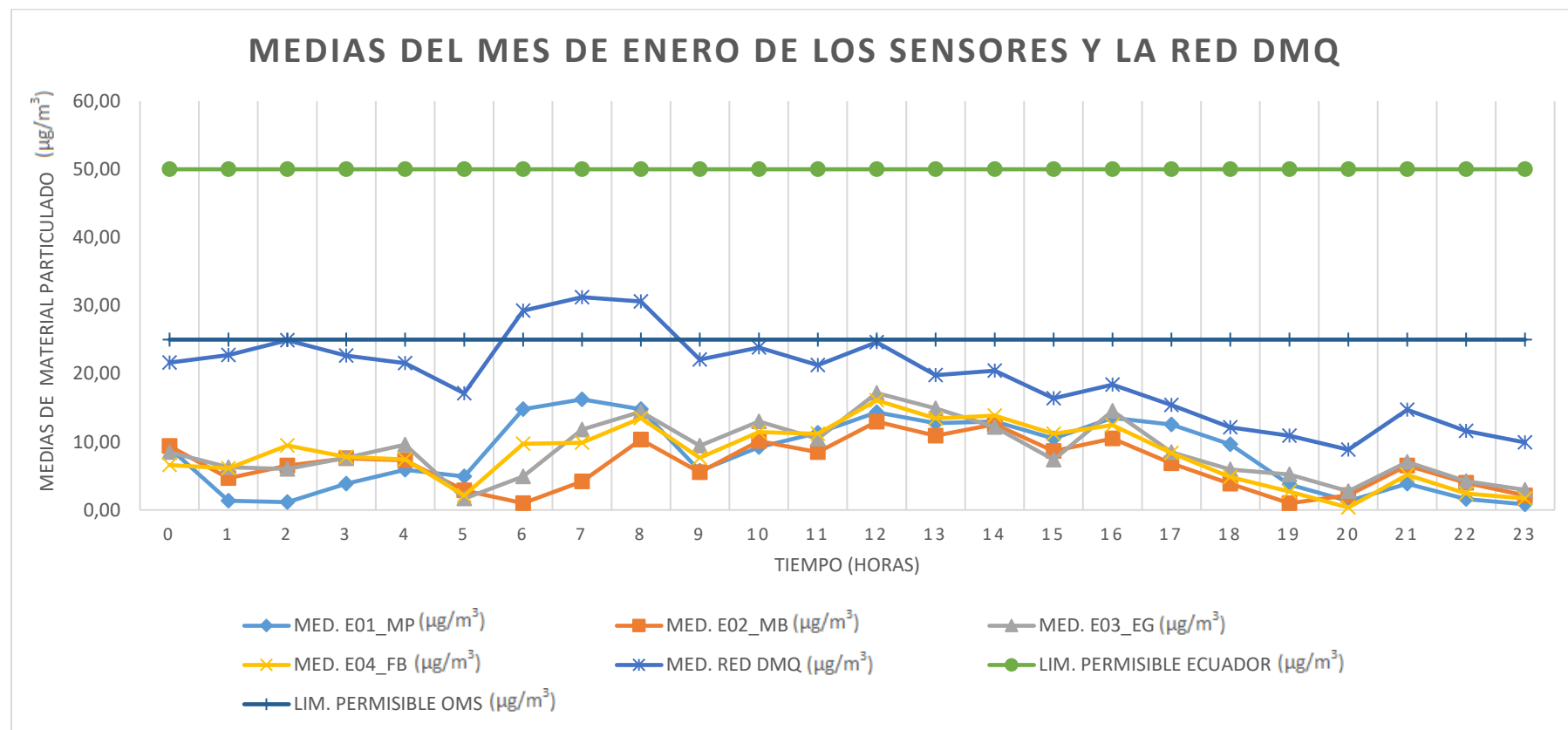
TIEMPO (HORAS)	MED. E01_MP (µg/m³)	MED. E02_MB (µg/m³)	MED. E03_EG (µg/m³)	MED. E04_FB (µg/m³)	MED. RED DMQ (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE OMS (µg/m³)
0	9,09	9,39	8,48	6,60	21,62	50,00	25,00
1	1,38	4,66	6,25	6,10	22,75	50,00	25,00
2	1,16	6,51	6,01	9,46	24,90	50,00	25,00
3	3,87	7,60	7,65	7,78	22,65	50,00	25,00
4	5,89	7,28	9,60	7,42	21,55	50,00	25,00
5	4,93	2,87	1,67	2,12	17,13	50,00	25,00
6	14,78	1,00	4,91	9,73	29,26	50,00	25,00
7	16,24	4,19	11,81	9,87	31,23	50,00	25,00
8	14,79	10,35	14,42	13,46	30,58	50,00	25,00
9	5,74	5,54	9,43	7,68	22,09	50,00	25,00
10	9,21	10,12	13,01	11,42	23,84	50,00	25,00
11	11,31	8,49	10,46	11,19	21,27	50,00	25,00
12	14,32	12,97	17,17	16,11	24,63	50,00	25,00
13	12,75	10,88	14,91	13,44	19,80	50,00	25,00
14	13,00	12,59	12,19	13,84	20,43	50,00	25,00
15	10,47	8,66	7,38	11,19	16,39	50,00	25,00
16	13,51	10,48	14,53	12,45	18,39	50,00	25,00
17	12,53	6,86	8,48	8,35	15,39	50,00	25,00
18	9,63	3,86	5,94	4,85	12,11	50,00	25,00
19	3,75	1,00	5,22	2,69	10,88	50,00	25,00
20	1,34	2,19	2,74	0,36	8,85	50,00	25,00
21	3,87	6,52	7,06	5,18	14,71	50,00	25,00
22	1,60	3,99	4,22	2,41	11,58	50,00	25,00
23	0,84	2,15	2,97	1,69	9,94	50,00	25,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 21 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 21

Medias de los sensores y red DMQ mes de enero



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación

4.1.11. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 18

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)

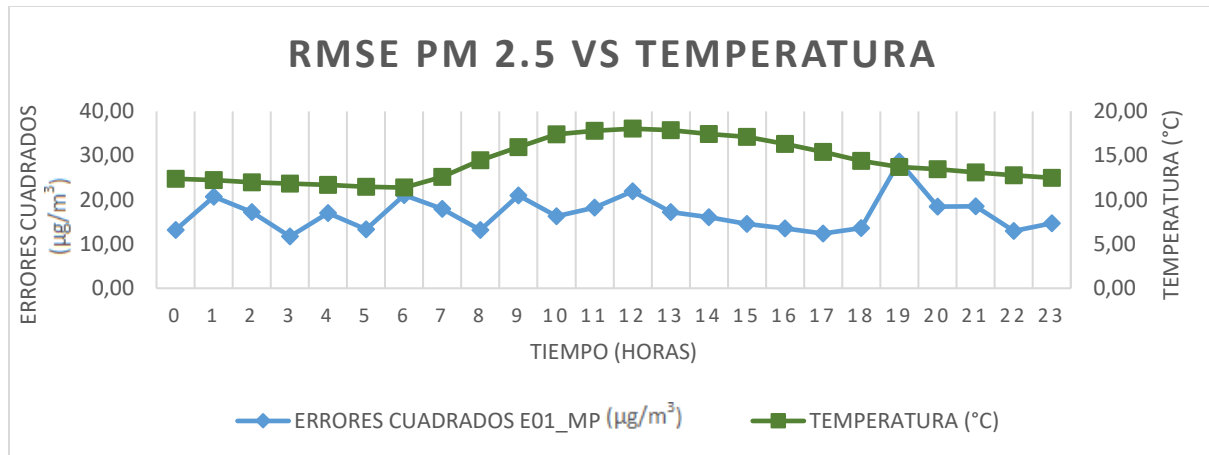
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	13,19	12,40	83,47
1	20,73	12,22	83,75
2	17,24	12,00	84,17
3	11,71	11,85	84,47
4	17,03	11,68	84,70
5	13,32	11,47	85,36
6	21,03	11,38	85,99
7	17,98	12,60	81,37
8	13,19	14,47	71,75
9	21,01	15,97	64,66
10	16,28	17,42	58,08
11	18,26	17,80	56,85
12	21,97	18,04	55,79
13	17,19	17,87	57,99
14	16,05	17,43	60,46
15	14,57	17,12	61,84
16	13,56	16,34	65,08
17	12,36	15,42	69,02
18	13,58	14,40	72,89
19	28,67	13,71	77,29
20	18,42	13,46	78,85
21	18,52	13,11	81,52
22	13,00	12,79	83,09
23	14,73	12,50	84,22

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E01_MP junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 22 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 19:00 horas con 13,71 °C y a las 12:00 horas con 18,04 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E01_MP y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 22

RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP)

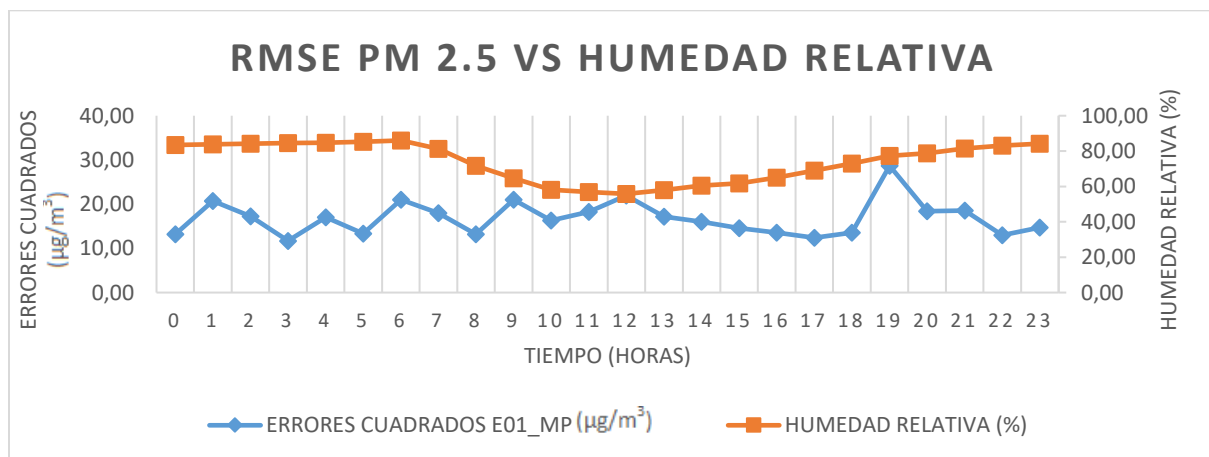


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 23 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 19:00 horas con el 77,29% HR y a las 12:00 horas con el 55,79% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E01_MP y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 23

RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.12. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 19

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB)

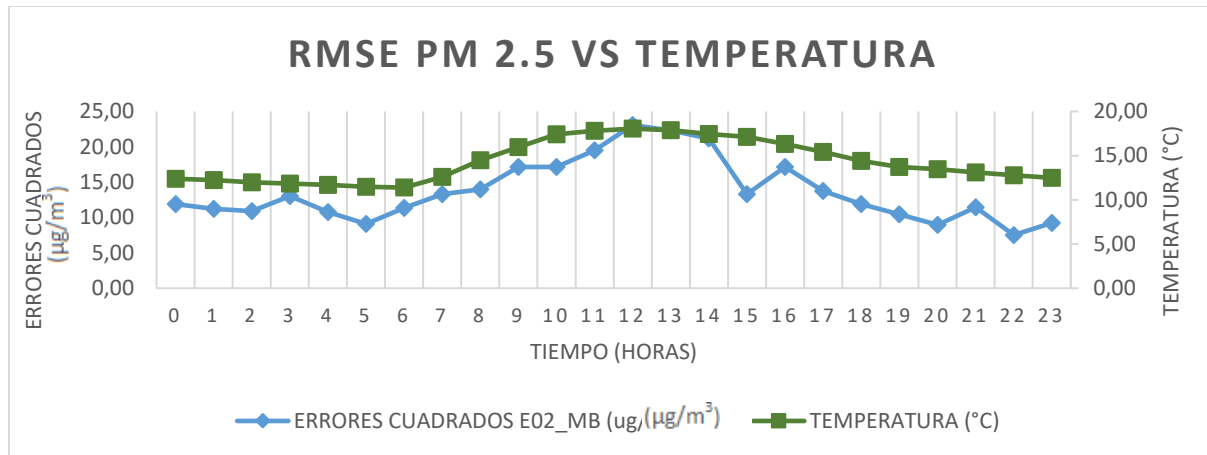
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,92	12,40	83,47
1	11,22	12,22	83,75
2	10,89	12,00	84,17
3	13,01	11,85	84,47
4	10,79	11,68	84,70
5	9,08	11,47	85,36
6	11,35	11,38	85,99
7	13,29	12,60	81,37
8	13,98	14,47	71,75
9	17,14	15,97	64,66
10	17,13	17,42	58,08
11	19,49	17,80	56,85
12	23,06	18,04	55,79
13	22,32	17,87	57,99
14	21,19	17,43	60,46
15	13,30	17,12	61,84
16	17,13	16,34	65,08
17	13,77	15,42	69,02
18	11,90	14,40	72,89
19	10,47	13,71	77,29
20	8,95	13,46	78,85
21	11,44	13,11	81,52
22	7,52	12,79	83,09
23	9,24	12,50	84,22

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E02_MB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 24 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con 18,04 °C y a las 13:00 horas con 17,87 °C lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E02_MB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 24

RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)

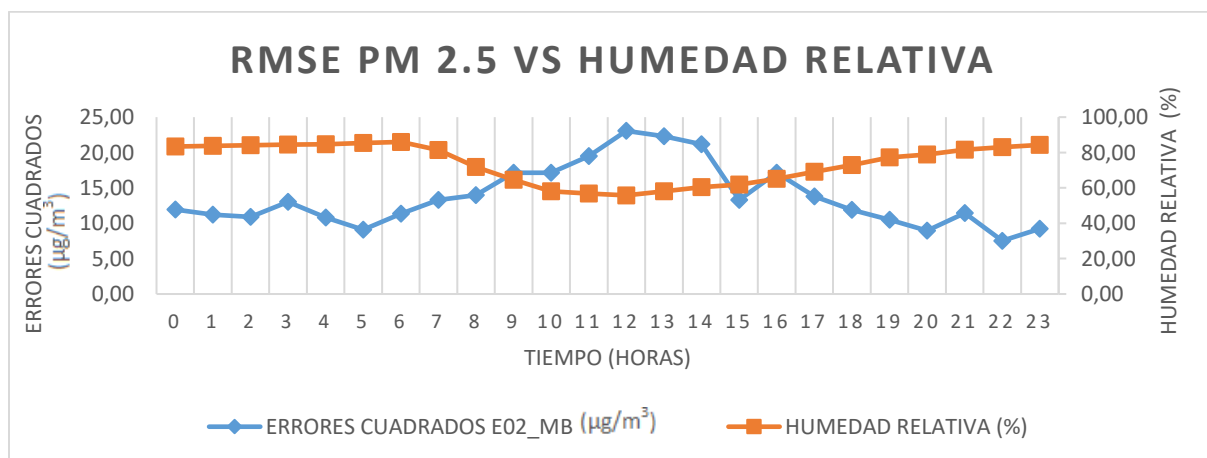


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 25 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con el 55,79% HR y a las 13:00 horas con el 57,99% HR lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E02_MB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 25

RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.13. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 20

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG)

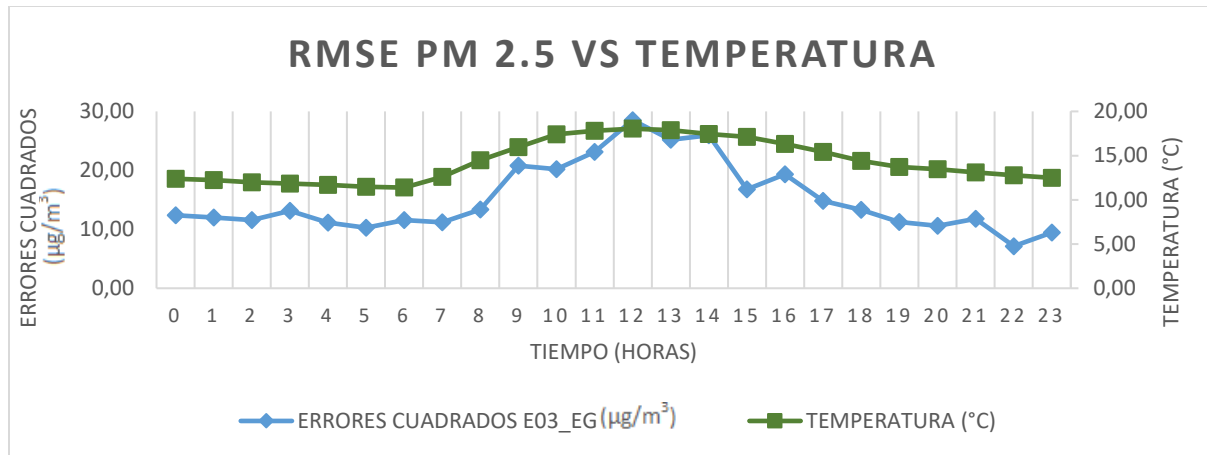
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	12,39	12,40	83,47
1	11,99	12,22	83,75
2	11,55	12,00	84,17
3	13,12	11,85	84,47
4	11,15	11,68	84,70
5	10,27	11,47	85,36
6	11,56	11,38	85,99
7	11,18	12,60	81,37
8	13,34	14,47	71,75
9	20,78	15,97	64,66
10	20,17	17,42	58,08
11	23,13	17,80	56,85
12	28,52	18,04	55,79
13	25,18	17,87	57,99
14	25,95	17,43	60,46
15	16,75	17,12	61,84
16	19,34	16,34	65,08
17	14,81	15,42	69,02
18	13,30	14,40	72,89
19	11,22	13,71	77,29
20	10,57	13,46	78,85
21	11,76	13,11	81,52
22	7,14	12,79	83,09
23	9,43	12,50	84,22

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E03_EG junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 26 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con 18,04 °C y a las 14:00 horas con 17,43 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E03_EG y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 26

RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)

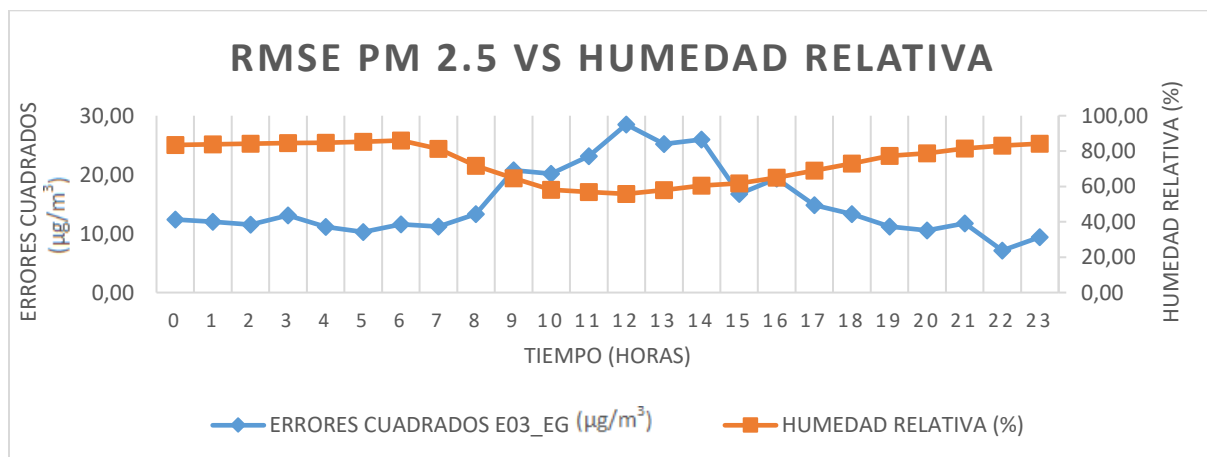


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 27 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados a las 12:00 horas el 55,79% HR y a las 14:00 horas con el 60,46% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E03_EG y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 27

RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.14. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 21

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)

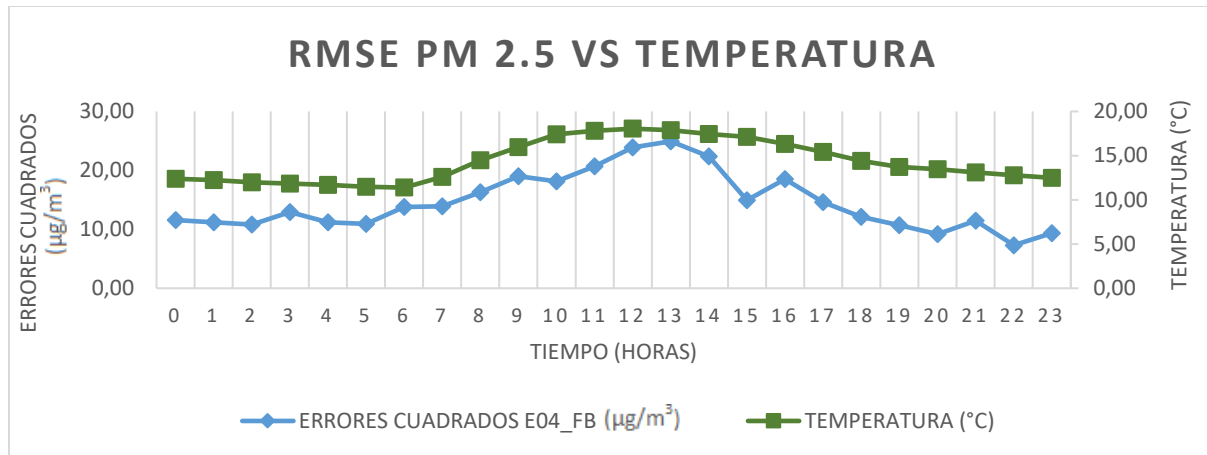
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,55	12,40	83,47
1	11,18	12,22	83,75
2	10,79	12,00	84,17
3	12,93	11,85	84,47
4	11,18	11,68	84,70
5	10,91	11,47	85,36
6	13,79	11,38	85,99
7	13,92	12,60	81,37
8	16,28	14,47	71,75
9	19,01	15,97	64,66
10	18,12	17,42	58,08
11	20,70	17,80	56,85
12	23,91	18,04	55,79
13	24,92	17,87	57,99
14	22,39	17,43	60,46
15	14,92	17,12	61,84
16	18,49	16,34	65,08
17	14,58	15,42	69,02
18	12,08	14,40	72,89
19	10,68	13,71	77,29
20	9,20	13,46	78,85
21	11,45	13,11	81,52
22	7,30	12,79	83,09
23	9,33	12,50	84,22

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E04_FB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 28 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con 17,87 °C y a las 12:00 horas con 18,04 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada, el error entre las mediciones del Sensor E04_FB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 28

RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB)

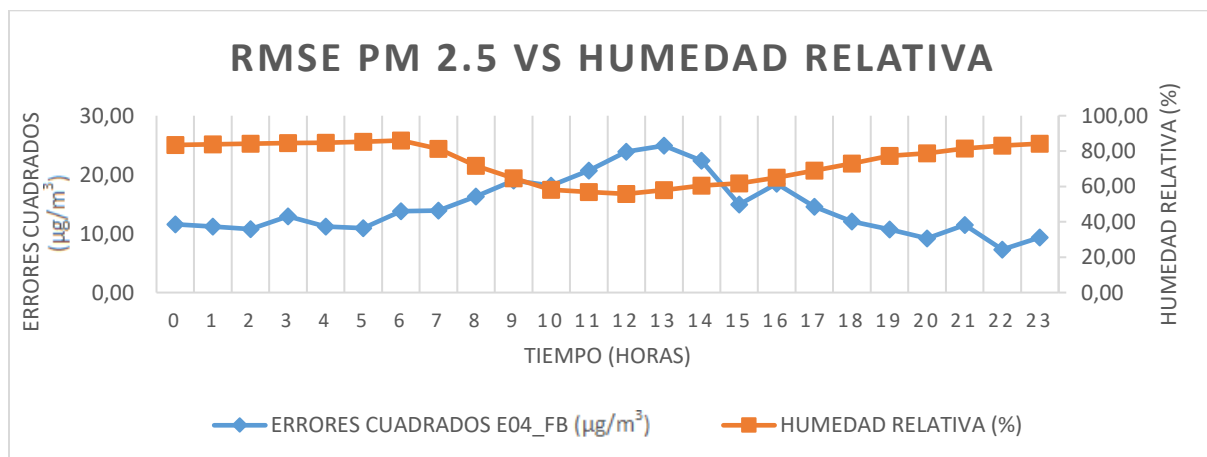


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 29 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con el 57,99% y a las 12:00 horas con el 55,79%, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E04_FB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 29

RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.1.15. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE DICIEMBRE AÑO 2020 DE LOS
SENSORES E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.**

Tabla 22

Medias mes de febrero 2021

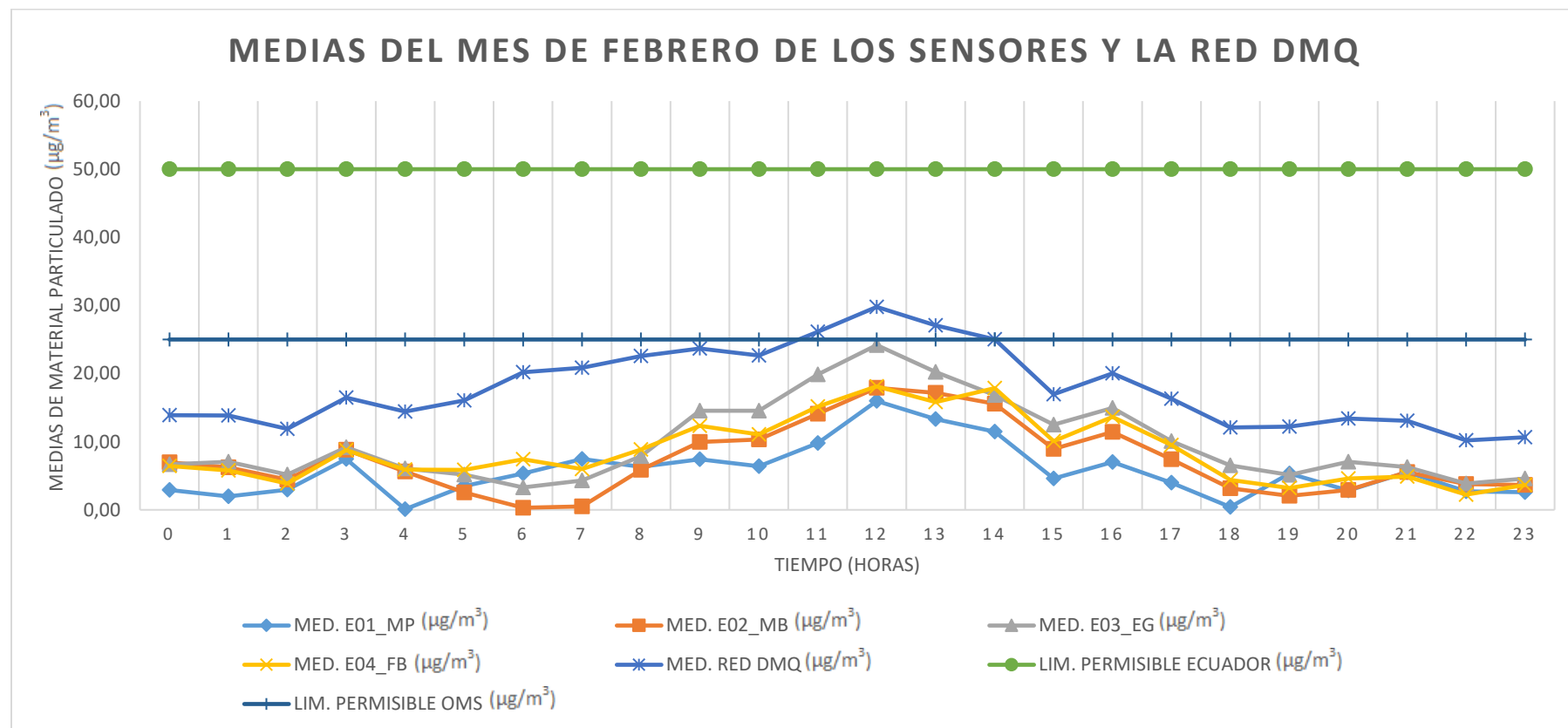
TIEMPO (HORAS)	MED. E01_MP (µg/m³)	MED. E02_MB (µg/m³)	MED. E03_EG (µg/m³)	MED. E04_FB (µg/m³)	MED. RED DMQ (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE OMS (µg/m³)
0	2,91	6,99	6,67	6,42	13,88	50,00	25,00
1	1,98	6,22	7,07	5,80	13,84	50,00	25,00
2	2,96	4,41	5,17	3,85	11,89	50,00	25,00
3	7,44	8,81	9,17	8,77	16,47	50,00	25,00
4	0,09	5,61	6,09	5,89	14,43	50,00	25,00
5	3,50	2,54	5,15	5,87	16,06	50,00	25,00
6	5,32	0,30	3,29	7,42	20,21	50,00	25,00
7	7,44	0,49	4,29	5,98	20,87	50,00	25,00
8	6,33	5,88	7,89	8,86	22,59	50,00	25,00
9	7,42	9,98	14,56	12,34	23,66	50,00	25,00
10	6,39	10,34	14,56	11,08	22,64	50,00	25,00
11	9,81	14,11	19,86	15,18	26,14	50,00	25,00
12	15,97	17,91	24,18	18,12	29,79	50,00	25,00
13	13,33	17,18	20,23	15,82	27,08	50,00	25,00
14	11,46	15,56	16,83	17,86	25,03	50,00	25,00
15	4,57	8,93	12,48	10,07	16,96	50,00	25,00
16	7,03	11,44	14,94	13,65	20,02	50,00	25,00
17	4,00	7,43	10,09	9,50	16,31	50,00	25,00
18	0,40	3,15	6,51	4,38	12,08	50,00	25,00
19	5,35	2,04	5,14	3,21	12,21	50,00	25,00
20	2,85	2,91	7,06	4,60	13,39	50,00	25,00
21	5,54	5,53	6,29	4,86	13,08	50,00	25,00
22	2,72	3,77	3,87	2,23	10,19	50,00	25,00
23	2,58	3,67	4,57	3,64	10,65	50,00	25,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 30 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 30

Medias de los sensores y red DMQ mes de febrero



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.16. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E01_MP Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 23

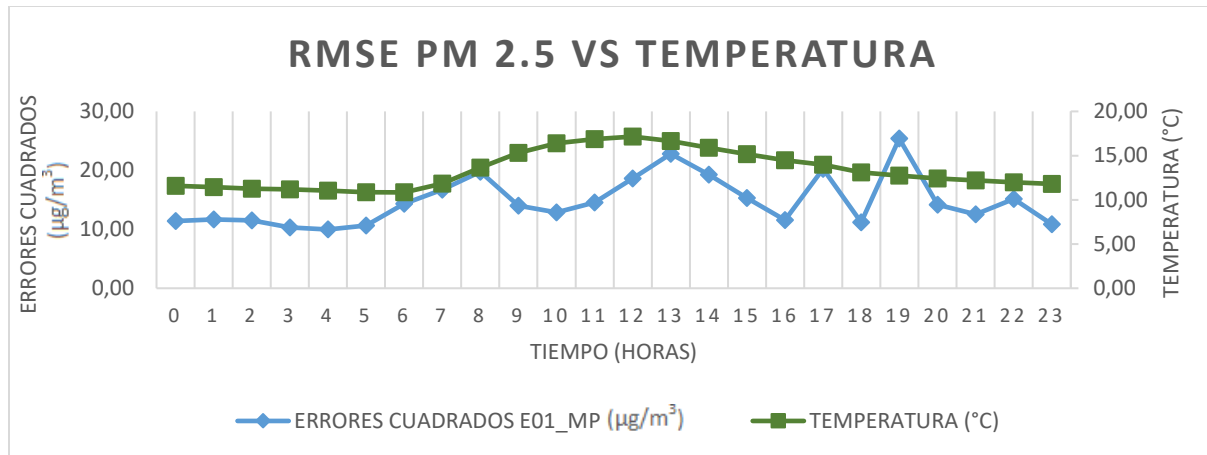
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E01_MP)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	11,40	11,59	87,25
1	11,70	11,43	87,84
2	11,54	11,27	88,22
3	10,31	11,18	87,99
4	9,97	11,04	87,87
5	10,67	10,87	88,07
6	14,34	10,84	87,53
7	16,71	11,85	83,98
8	19,76	13,63	75,75
9	14,01	15,32	67,34
10	12,88	16,39	62,07
11	14,54	16,87	60,14
12	18,61	17,15	59,66
13	22,81	16,65	62,28
14	19,27	15,88	66,53
15	15,32	15,16	70,04
16	11,57	14,48	73,71
17	20,27	13,99	76,23
18	11,17	13,12	79,13
19	25,38	12,73	81,24
20	14,18	12,43	83,18
21	12,52	12,18	84,36
22	15,12	11,97	85,27
23	10,84	11,79	86,23

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E01_MP junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 31 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 19:00 horas con 12,73 °C y a las 13:00 horas con 16,65 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E01_MP y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

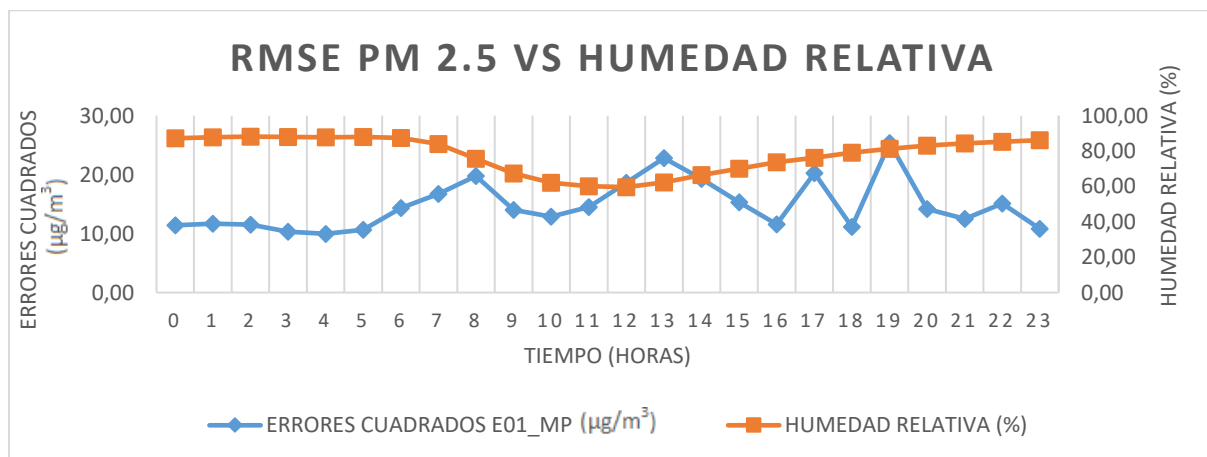
Figura 31
RMSE vs temperatura (Sensor E01_MP)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 32 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2.5}) del sensor E01_MP y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 19:00 horas con el 81,24% HR y a las 13:00 horas con el 62,28% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E01_MP y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 32
RMSE vs humedad relativa (Sensor E01_MP)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.17. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E02_MB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 24

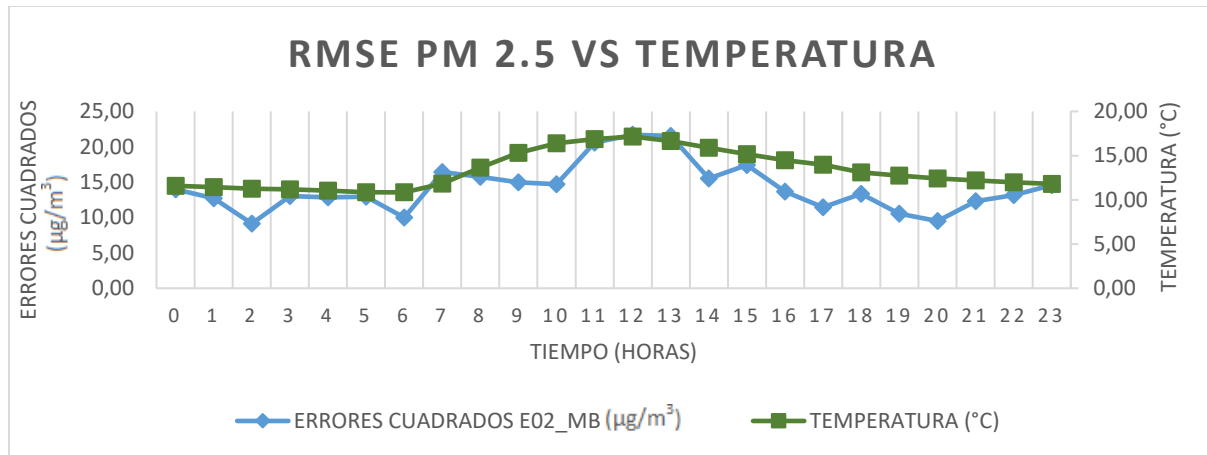
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E02_MB)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	13,97	11,59	87,25
1	12,73	11,43	87,84
2	9,14	11,27	88,22
3	13,03	11,18	87,99
4	12,86	11,04	87,87
5	12,95	10,87	88,07
6	10,00	10,84	87,53
7	16,41	11,85	83,98
8	15,75	13,63	75,75
9	14,96	15,32	67,34
10	14,68	16,39	62,07
11	20,60	16,87	60,14
12	21,69	17,15	59,66
13	21,52	16,65	62,28
14	15,50	15,88	66,53
15	17,44	15,16	70,04
16	13,67	14,48	73,71
17	11,45	13,99	76,23
18	13,33	13,12	79,13
19	10,53	12,73	81,24
20	9,49	12,43	83,18
21	12,29	12,18	84,36
22	13,19	11,97	85,27
23	14,57	11,79	86,23

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E02_MB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 33 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con 17,15 °C y a las 13:00 horas con 16,65 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E02_MB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

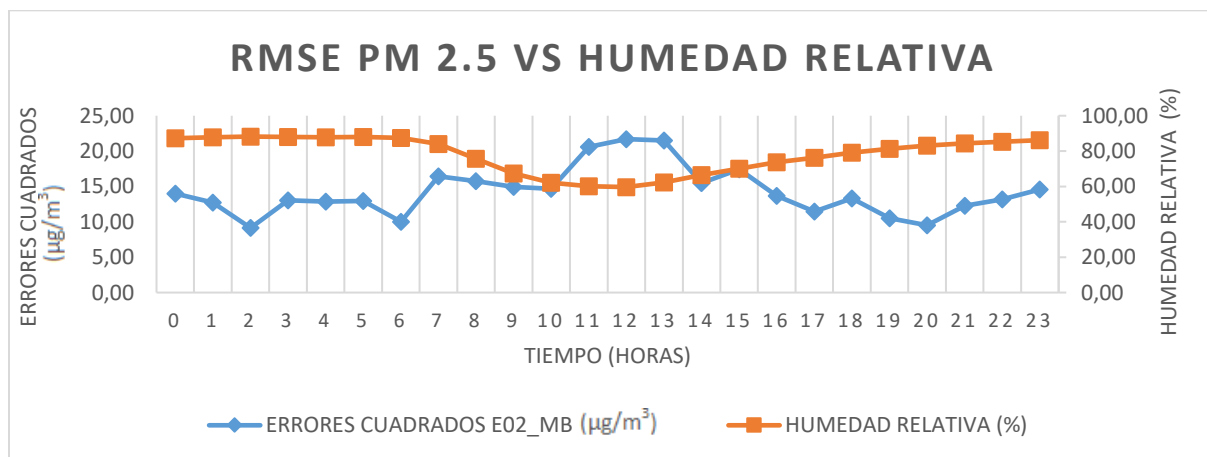
Figura 33
RMSE vs temperatura (Sensor E02_MB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 34 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2.5}) del sensor E02_MB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con el 59,66% HR y a las 13:00 horas con el 62,28% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E02_MB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 34
RMSE vs humedad relativa (Sensor E02_MB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.18. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E03_EG Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 25

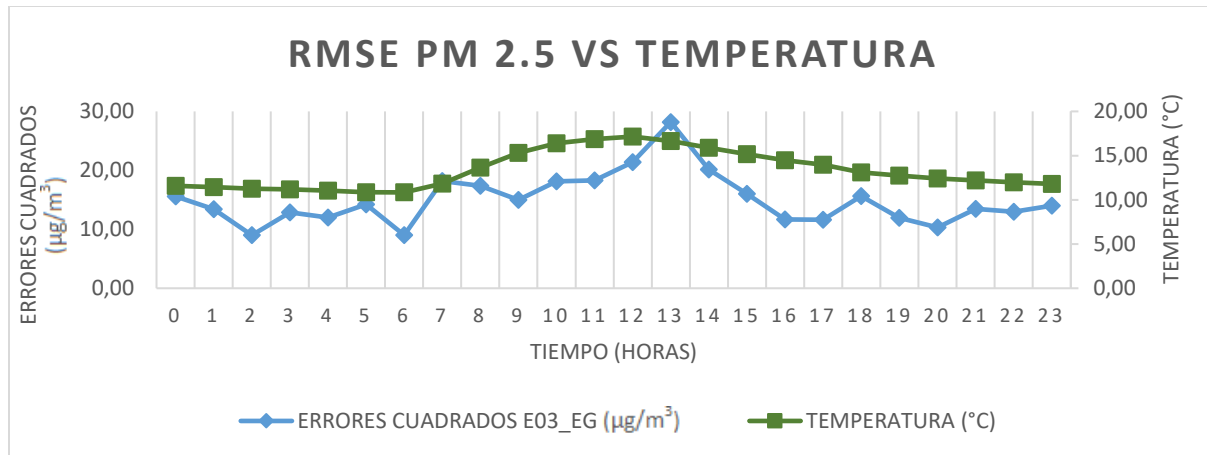
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E03_EG)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	15,56	11,59	87,25
1	13,42	11,43	87,84
2	9,00	11,27	88,22
3	12,85	11,18	87,99
4	12,00	11,04	87,87
5	14,22	10,87	88,07
6	9,02	10,84	87,53
7	18,18	11,85	83,98
8	17,40	13,63	75,75
9	14,97	15,32	67,34
10	18,14	16,39	62,07
11	18,27	16,87	60,14
12	21,39	17,15	59,66
13	28,20	16,65	62,28
14	20,12	15,88	66,53
15	16,02	15,16	70,04
16	11,70	14,48	73,71
17	11,62	13,99	76,23
18	15,66	13,12	79,13
19	11,94	12,73	81,24
20	10,31	12,43	83,18
21	13,44	12,18	84,36
22	12,98	11,97	85,27
23	14,03	11,79	86,23

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E03_EG junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 35 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con 16,65 °C y a las 12:00 horas con 17,15 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E03_EG y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

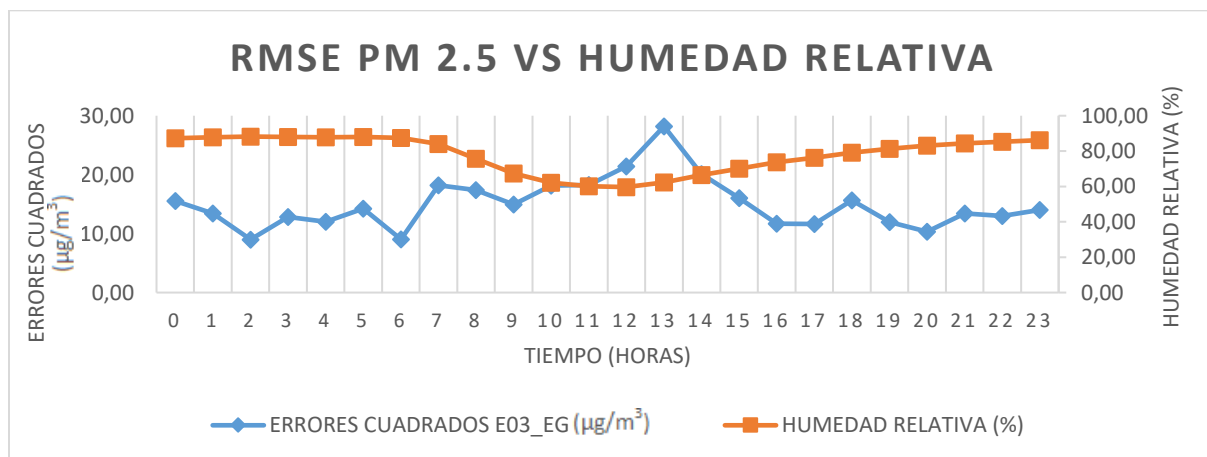
Figura 35
RMSE vs temperatura (Sensor E03_EG)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 36 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2.5}) del sensor E03_EG y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con el 62,28% HR y a las 12:00 horas el 59,66% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E03_EG y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 36
RMSE vs humedad relativa (Sensor E03_EG)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.1.19. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E04_FB Y LA ESTACIÓN DEL CAMAL METROPOLITANO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 26

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E04_FB)

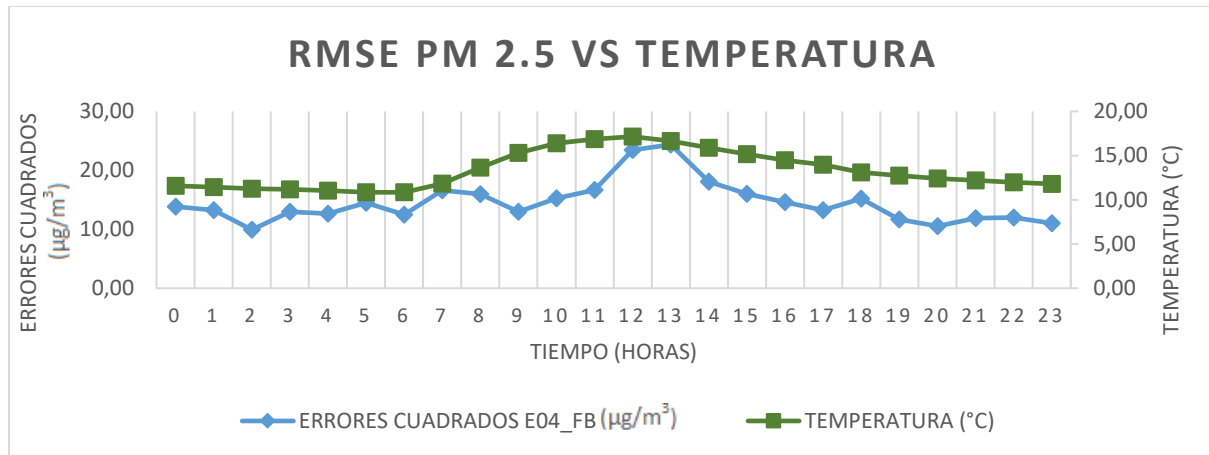
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	13,82	11,59	87,25
1	13,27	11,43	87,84
2	9,92	11,27	88,22
3	13,00	11,18	87,99
4	12,63	11,04	87,87
5	14,47	10,87	88,07
6	12,50	10,84	87,53
7	16,60	11,85	83,98
8	15,99	13,63	75,75
9	13,00	15,32	67,34
10	15,25	16,39	62,07
11	16,66	16,87	60,14
12	23,47	17,15	59,66
13	24,36	16,65	62,28
14	18,05	15,88	66,53
15	16,02	15,16	70,04
16	14,59	14,48	73,71
17	13,25	13,99	76,23
18	15,19	13,12	79,13
19	11,68	12,73	81,24
20	10,52	12,43	83,18
21	11,90	12,18	84,36
22	12,00	11,97	85,27
23	11,04	11,79	86,23

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E04_FB junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 37 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con 16,65 °C y a las 12:00 horas con 17,15 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del Sensor E04_FB y la estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 37

RMSE vs temperatura (Sensor E04_FB)

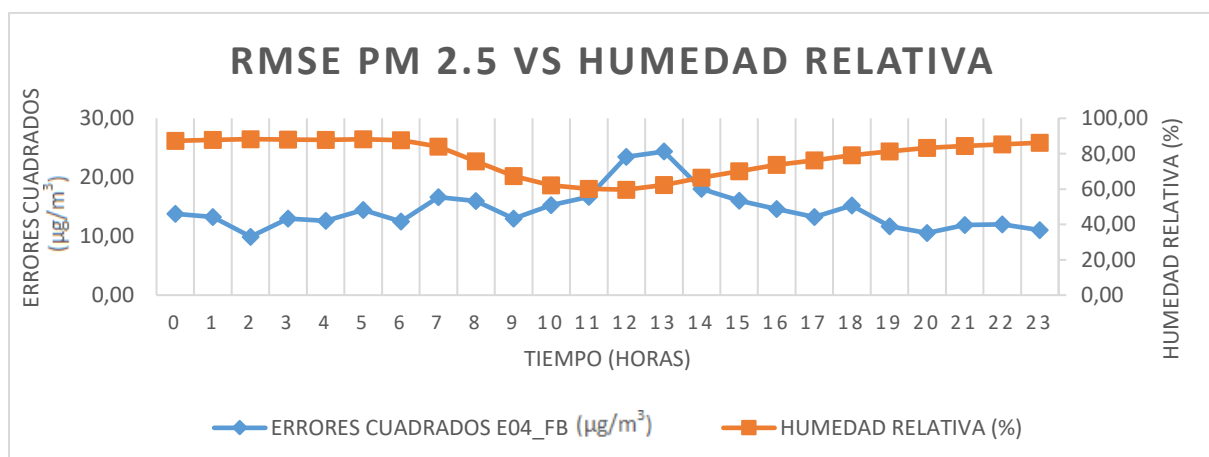


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 38 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E04_FB y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con el 62,28% HR y a las 12:00 horas con el 59,66% HR, lo que quiere decir que, generalmente a menor humedad relativa registrada, el error entre las mediciones del sensor E04_FB y la Estación del Camal Metropolitano, se incrementa.

Figura 38

RMSE vs humedad relativa (Sensor E04_FB)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.1.20. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE MARZO AÑO 2021 DE LOS SENSORES
E01- E04 Y ESTACION DEL CAMAL METROPOLITANO.**

Tabla 27

Medias mes de marzo 2021

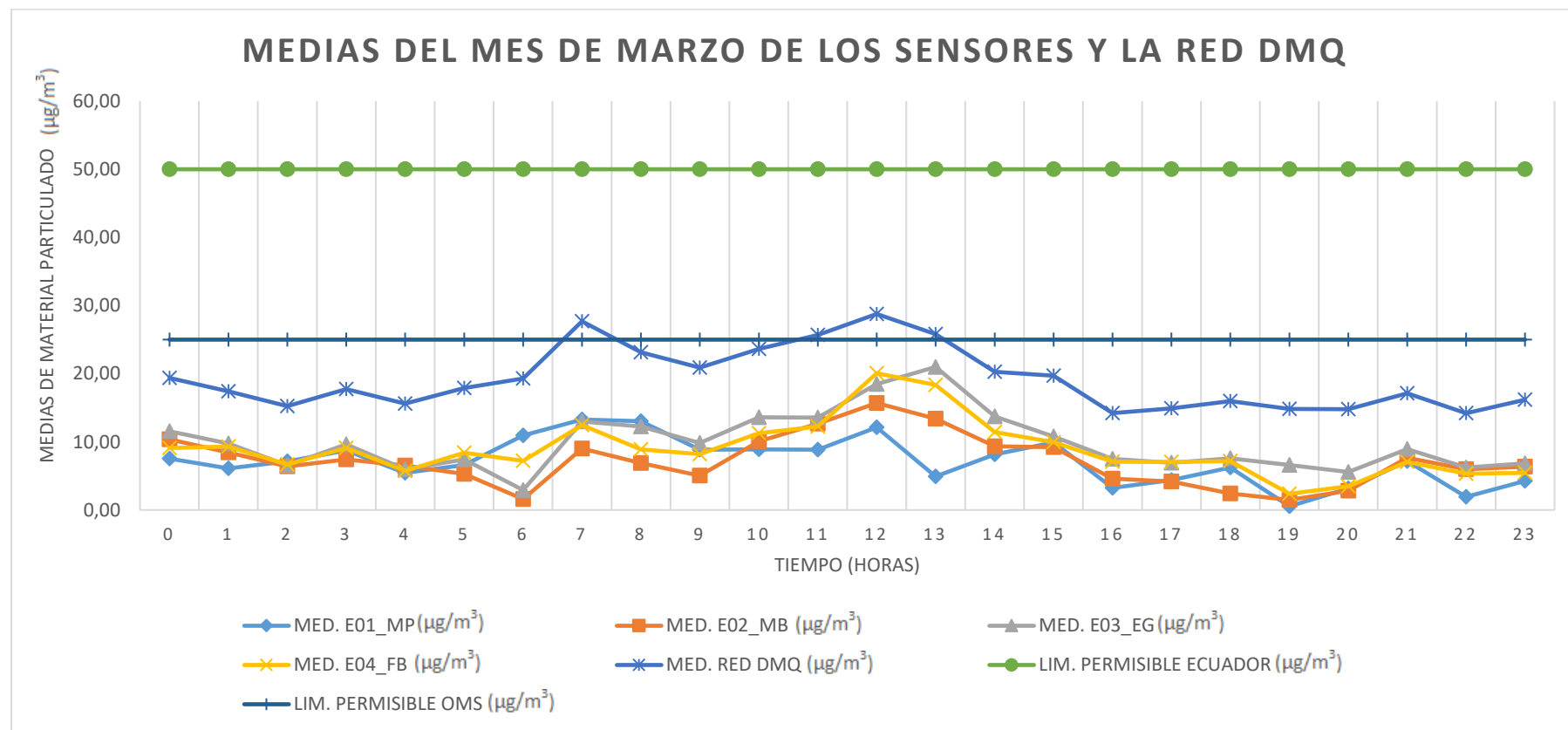
TIEMPO (HORAS)	MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LIM. PERMISIBLE OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	7,53	10,37	11,56	9,11	19,39	50,00	25,00
1	6,11	8,45	9,74	9,29	17,41	50,00	25,00
2	7,15	6,39	6,58	6,68	15,26	50,00	25,00
3	8,73	7,43	9,65	9,09	17,73	50,00	25,00
4	5,44	6,52	5,97	5,74	15,62	50,00	25,00
5	6,61	5,29	7,43	8,38	17,91	50,00	25,00
6	10,94	1,61	2,92	7,21	19,30	50,00	25,00
7	13,28	9,02	13,00	12,46	27,69	50,00	25,00
8	13,02	6,87	12,25	8,91	23,14	50,00	25,00
9	8,86	5,05	9,82	8,18	20,87	50,00	25,00
10	8,90	10,07	13,62	11,26	23,66	50,00	25,00
11	8,85	12,67	13,56	12,25	25,68	50,00	25,00
12	12,11	15,70	18,48	20,07	28,77	50,00	25,00
13	4,92	13,42	20,99	18,34	25,82	50,00	25,00
14	8,14	9,36	13,74	11,43	20,27	50,00	25,00
15	9,92	9,22	10,76	9,96	19,71	50,00	25,00
16	3,25	4,58	7,50	7,09	14,21	50,00	25,00
17	4,38	4,17	6,94	7,05	14,92	50,00	25,00
18	6,24	2,42	7,57	7,19	15,98	50,00	25,00
19	0,55	1,48	6,62	2,38	14,84	50,00	25,00
20	3,15	2,84	5,59	3,48	14,80	50,00	25,00
21	7,17	7,66	8,93	7,03	17,12	50,00	25,00
22	1,92	5,98	6,22	5,31	14,20	50,00	25,00
23	4,25	6,34	6,84	5,44	16,17	50,00	25,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 39 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 39

Medias de los sensores y red DMQ mes de marzo



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2. ESTACIÓN REMMAQ “TUMBACO” Y SENSORES

4.2.1. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 28

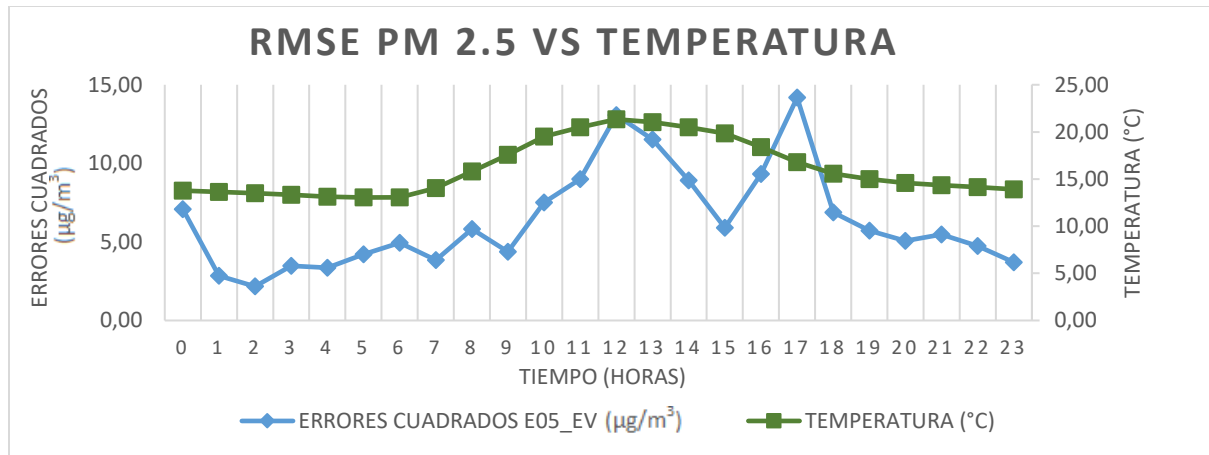
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E05_EV)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	7,08	13,77	90,89
1	2,85	13,63	91,01
2	2,17	13,51	91,31
3	3,48	13,34	91,71
4	3,35	13,14	91,89
5	4,20	13,04	92,42
6	4,94	13,06	91,89
7	3,84	14,05	86,62
8	5,82	15,80	77,47
9	4,37	17,56	68,31
10	7,52	19,49	58,58
11	9,00	20,51	53,49
12	13,07	21,34	49,89
13	11,52	21,05	52,22
14	8,92	20,50	55,38
15	5,90	19,85	58,08
16	9,32	18,38	66,56
17	14,18	16,80	75,12
18	6,88	15,59	81,44
19	5,73	14,99	85,41
20	5,06	14,59	88,06
21	5,48	14,35	89,24
22	4,74	14,14	89,78
23	3,70	13,90	90,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E05_EV junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 40 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 con 21,34 °C y a las 17:00 horas con 16,80 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

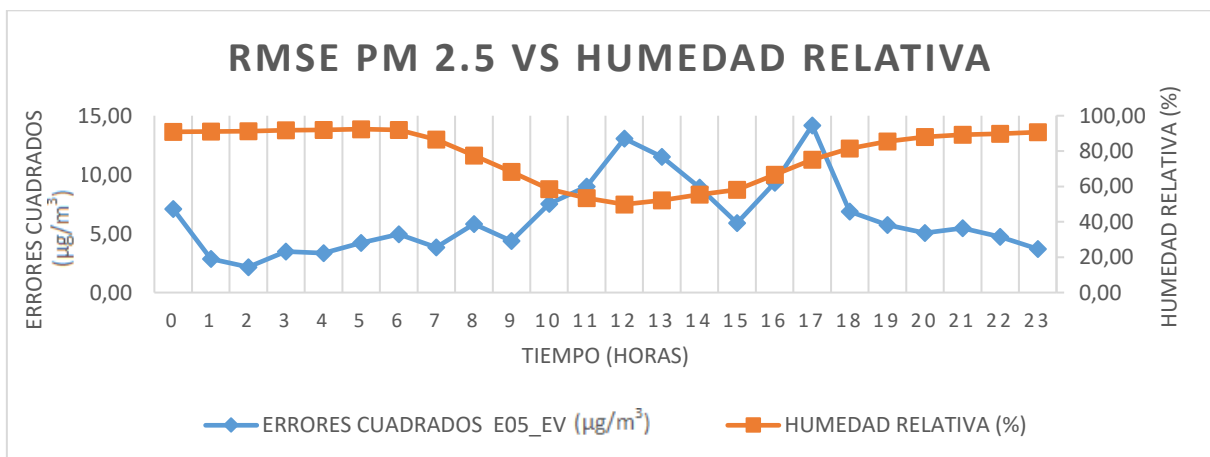
Figura 40
RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 41 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2.5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con el 49,89 % HR y a las 17:00 horas con el 75,12 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 41
RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.2. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 29

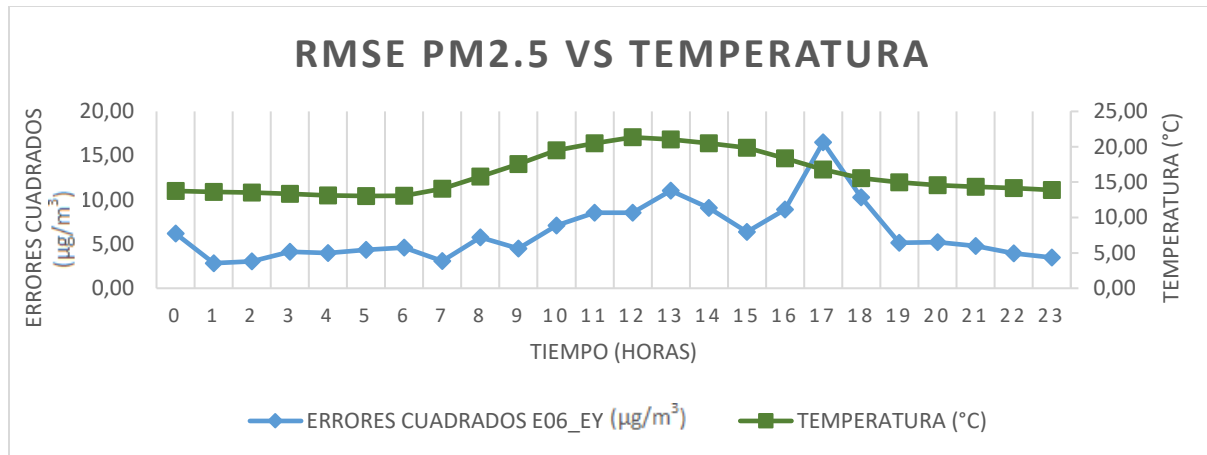
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E06_EY)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	6,18	13,77	90,89
1	2,84	13,63	91,01
2	3,06	13,51	91,31
3	4,11	13,34	91,71
4	3,98	13,14	91,89
5	4,34	13,04	92,42
6	4,59	13,06	91,89
7	3,07	14,05	86,62
8	5,77	15,80	77,47
9	4,47	17,56	68,31
10	7,08	19,49	58,58
11	8,53	20,51	53,49
12	8,53	21,34	49,89
13	11,03	21,05	52,22
14	9,07	20,50	55,38
15	6,36	19,85	58,08
16	8,89	18,38	66,56
17	16,50	16,80	75,12
18	10,27	15,59	81,44
19	5,12	14,99	85,41
20	5,22	14,59	88,06
21	4,77	14,35	89,24
22	3,96	14,14	89,78
23	3,49	13,90	90,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E06_EY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación

En la Figura 42 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con 21,05 °C y a las 17:00 horas con 16,80 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

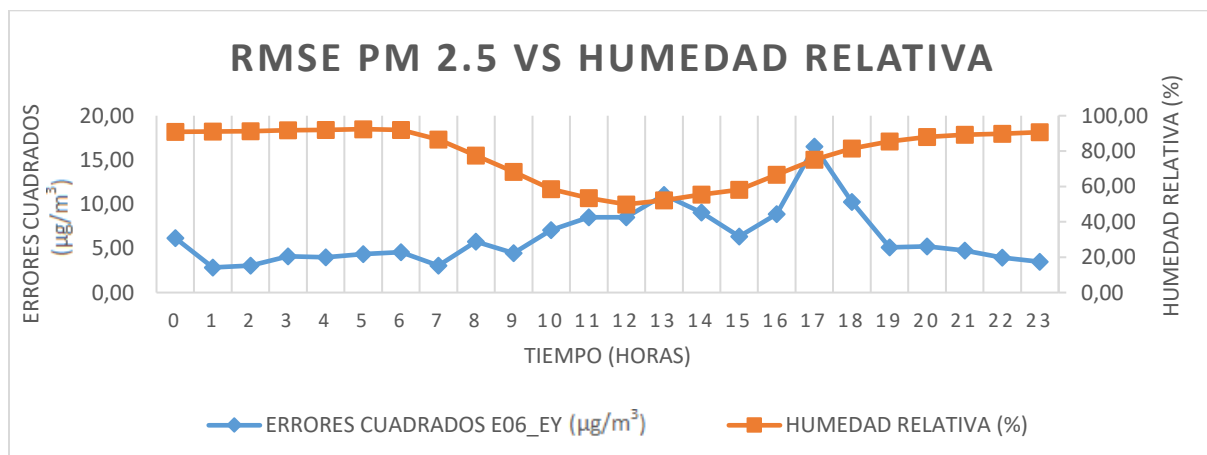
Figura 42
RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 43 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con el 52,22 % HR y a las 17:00 horas con el 75,12 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 43
RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de (RMSE) y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.3. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 30

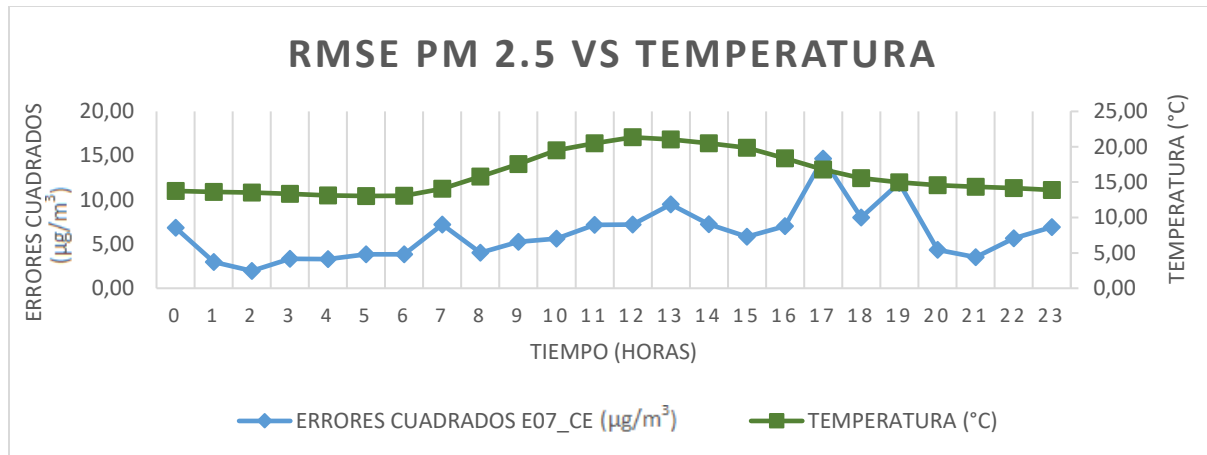
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E07_CE)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	6,84	13,77	90,89
1	2,96	13,63	91,01
2	1,96	13,51	91,31
3	3,33	13,34	91,71
4	3,31	13,14	91,89
5	3,85	13,04	92,42
6	3,83	13,06	91,89
7	7,21	14,05	86,62
8	4,01	15,80	77,47
9	5,26	17,56	68,31
10	5,60	19,49	58,58
11	7,15	20,51	53,49
12	7,19	21,34	49,89
13	9,47	21,05	52,22
14	7,23	20,50	55,38
15	5,85	19,85	58,08
16	7,01	18,38	66,56
17	14,66	16,80	75,12
18	7,99	15,59	81,44
19	11,90	14,99	85,41
20	4,33	14,59	88,06
21	3,52	14,35	89,24
22	5,64	14,14	89,78
23	6,92	13,90	90,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E07_CE junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 44 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 17:00 horas con 16,80 °C y a las 19:00 horas con 14,99 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

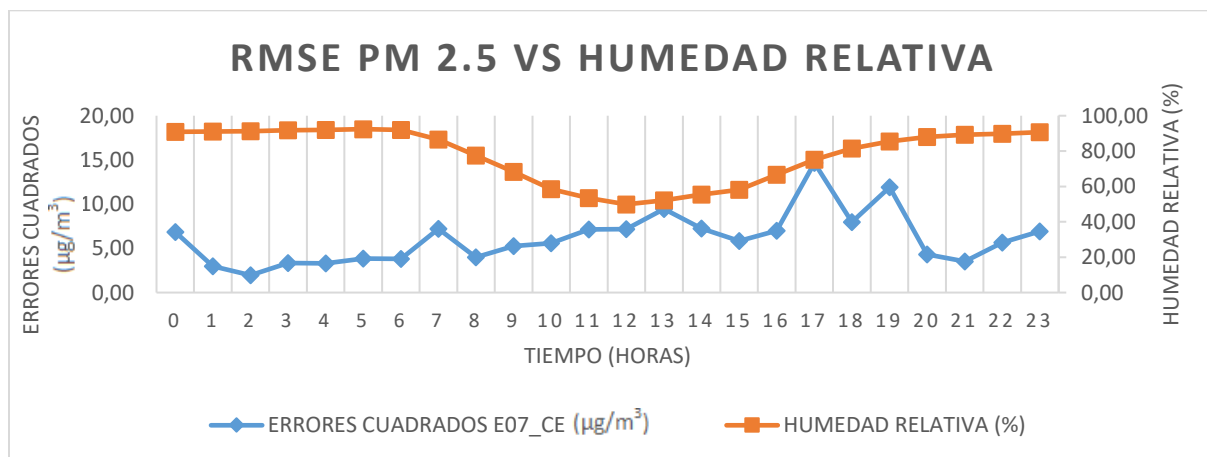
Figura 44
RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)



Nota. Representación de los datos de (RMSE) y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 45 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2.5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 17:00 horas con el 75,12 % HR y a las 19:00 horas con el 85,41 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 45
RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.4. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE DICIEMBRE 2020.

Tabla 31

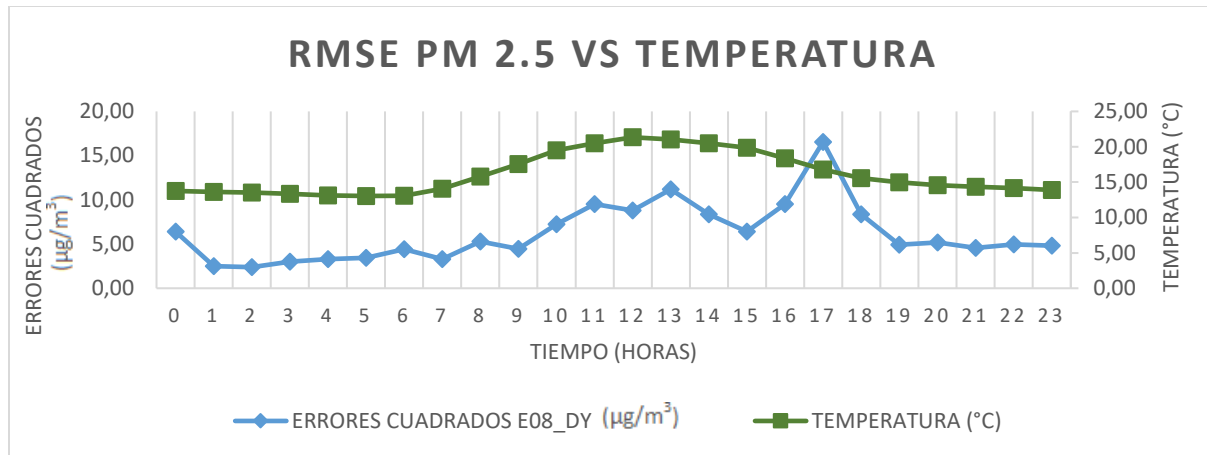
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E08_DY)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E08_DY (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	6,40	13,77	90,89
1	2,51	13,63	91,01
2	2,38	13,51	91,31
3	3,00	13,34	91,71
4	3,30	13,14	91,89
5	3,44	13,04	92,42
6	4,43	13,06	91,89
7	3,31	14,05	86,62
8	5,30	15,80	77,47
9	4,45	17,56	68,31
10	7,24	19,49	58,58
11	9,52	20,51	53,49
12	8,80	21,34	49,89
13	11,17	21,05	52,22
14	8,35	20,50	55,38
15	6,40	19,85	58,08
16	9,51	18,38	66,56
17	16,55	16,80	75,12
18	8,36	15,59	81,44
19	4,91	14,99	85,41
20	5,17	14,59	88,06
21	4,57	14,35	89,24
22	4,97	14,14	89,78
23	4,83	13,90	90,76

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al (RMSE) del sensor E08_DY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de diciembre año 2020. Fuente: La investigación.

En la Figura 46 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con 21,05 °C y a las 17:00 horas con 16,80 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

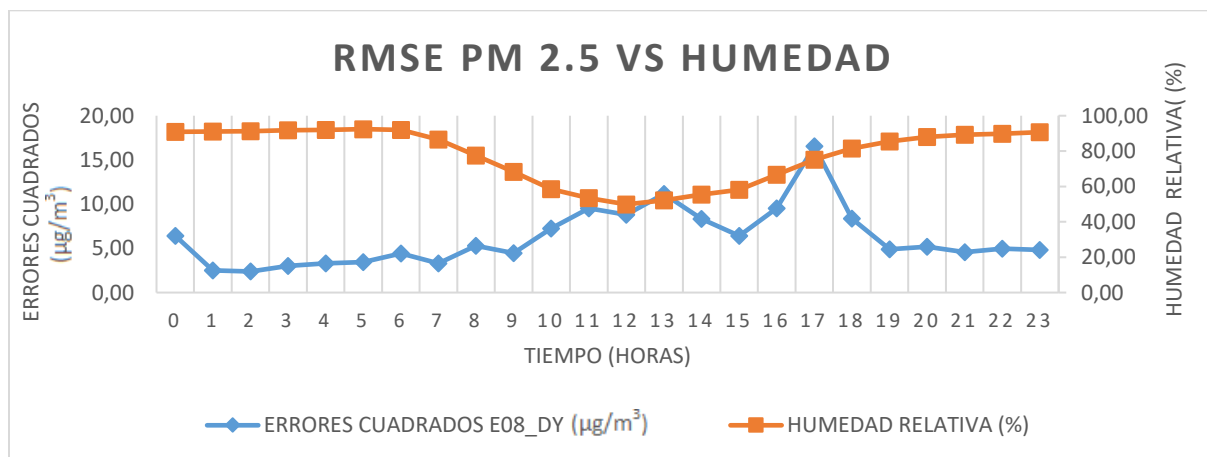
Figura 46
RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 47 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 13:00 horas con el 52,22 % HR y a las 17:00 horas con el 75,12 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 47
RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)



Nota. Representación de los datos de (RMSE) y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.2.5. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE DICIEMBRE AÑO 2020 SENSORES
E05- E08 Y ESTACION DE TUMBACO.**

Tabla 32

Medias mes de diciembre 2020

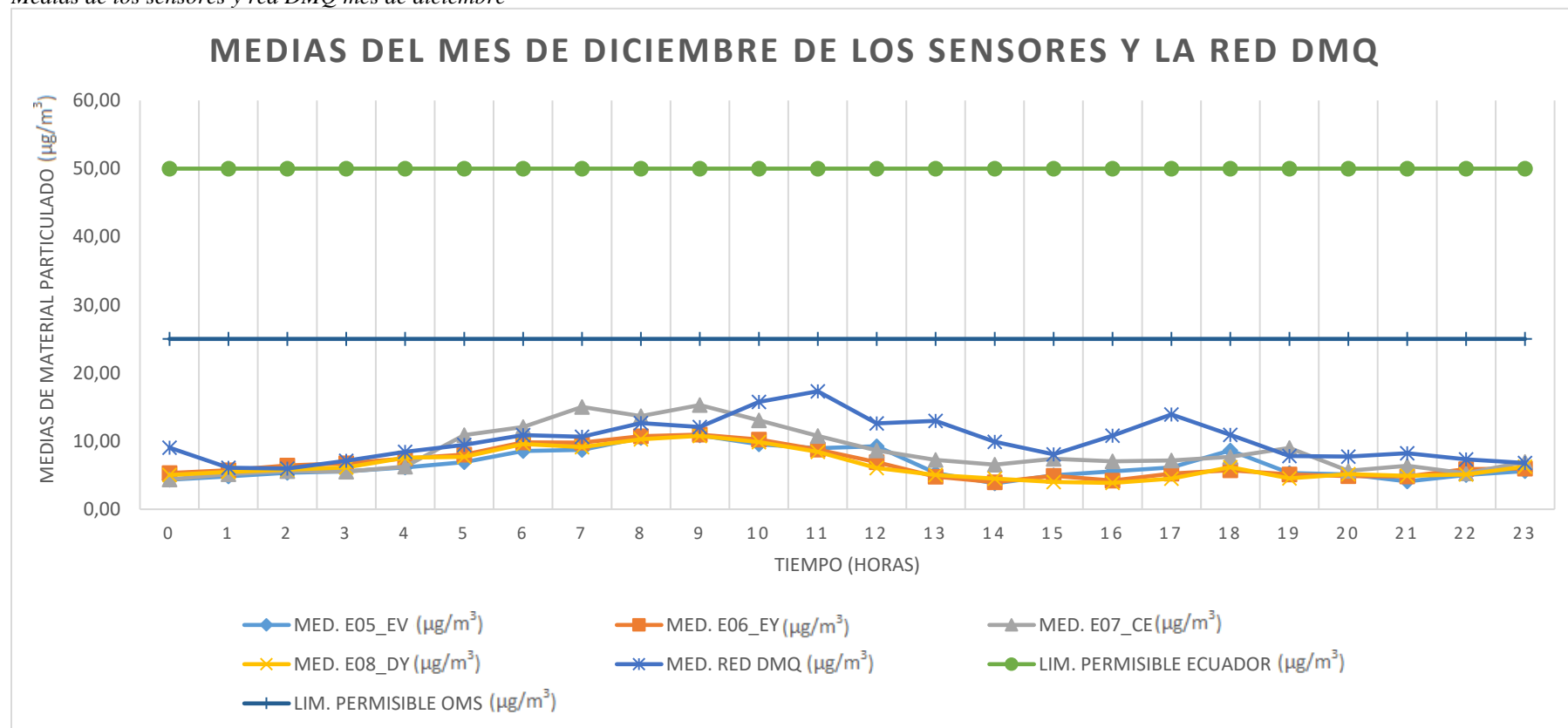
TIEMPO (HORAS)	MED. E05_EV (µg/m³)	MED. E06_EY (µg/m³)	MED. E07_CE (µg/m³)	MED. E08_DY (µg/m³)	MED. RED DMQ (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE OMS (µg/m³)
0	4,34	5,33	4,38	5,05	9,04	50,00	25,00
1	4,83	5,72	5,14	5,49	6,09	50,00	25,00
2	5,36	6,42	5,60	5,82	5,98	50,00	25,00
3	5,55	6,76	5,54	6,15	7,12	50,00	25,00
4	6,13	7,47	6,27	7,55	8,45	50,00	25,00
5	6,90	8,04	10,89	7,70	9,45	50,00	25,00
6	8,55	9,84	12,07	9,59	10,87	50,00	25,00
7	8,73	9,77	15,03	9,12	10,66	50,00	25,00
8	10,47	10,73	13,66	10,26	12,63	50,00	25,00
9	10,85	10,96	15,30	10,78	12,07	50,00	25,00
10	9,52	10,23	13,07	9,87	15,75	50,00	25,00
11	8,98	8,76	10,76	8,42	17,32	50,00	25,00
12	9,24	6,91	8,63	6,04	12,61	50,00	25,00
13	5,32	4,80	7,25	5,01	12,96	50,00	25,00
14	3,79	3,98	6,55	4,51	9,89	50,00	25,00
15	5,00	4,90	7,41	3,99	8,05	50,00	25,00
16	5,55	4,21	7,04	3,87	10,82	50,00	25,00
17	6,15	5,23	7,15	4,50	13,91	50,00	25,00
18	8,62	5,73	7,69	6,16	10,91	50,00	25,00
19	5,30	5,12	8,99	4,52	7,83	50,00	25,00
20	5,10	4,88	5,64	5,17	7,73	50,00	25,00
21	4,09	4,82	6,40	4,91	8,22	50,00	25,00
22	5,05	5,89	5,29	5,12	7,34	50,00	25,00
23	5,59	5,96	6,97	6,27	6,80	50,00	25,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 48 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 48

Medias de los sensores y red DMQ mes de diciembre



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.6. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 33

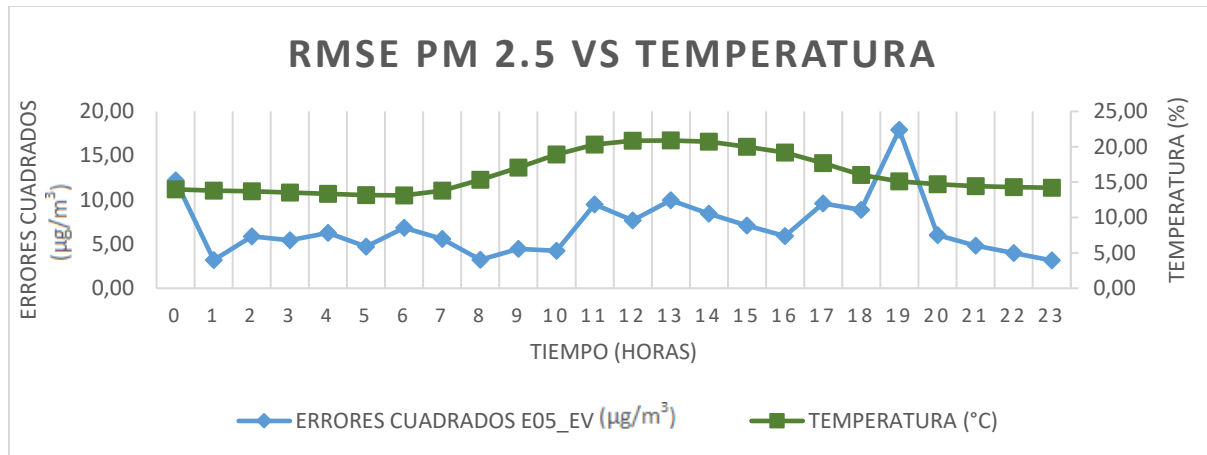
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E05_EV)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E05_EV (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	12,19	14,00	90,84
1	3,19	13,81	91,01
2	5,88	13,70	90,78
3	5,42	13,51	91,34
4	6,28	13,36	92,19
5	4,71	13,18	91,92
6	6,83	13,13	91,55
7	5,58	13,79	88,49
8	3,22	15,34	80,48
9	4,45	17,05	71,19
10	4,25	18,91	61,51
11	9,47	20,29	54,60
12	7,68	20,87	51,34
13	9,94	20,89	52,34
14	8,42	20,74	54,07
15	7,10	20,01	58,77
16	5,91	19,18	64,20
17	9,60	17,67	72,10
18	8,85	16,03	80,88
19	17,91	15,12	85,80
20	6,01	14,69	88,23
21	4,80	14,42	89,35
22	3,99	14,29	89,79
23	3,14	14,20	90,26

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E05_EV junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 49 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 0:00 horas con 14 °C y a las 19:00 horas con 15,12 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

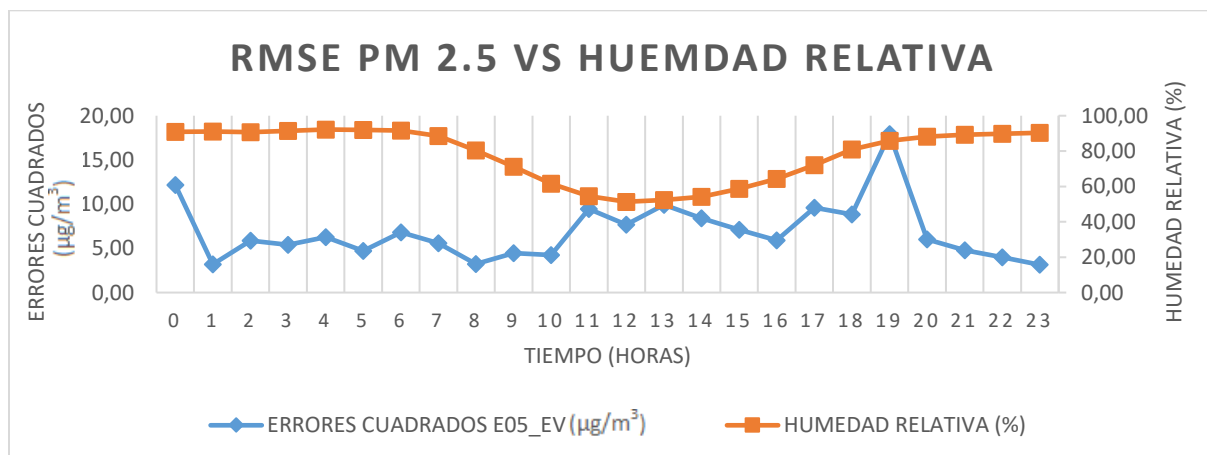
Figura 49
RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 50 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 0:00 horas con el 90,84 % HR y a las 19:00 horas con el 85,80 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 50
RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.7. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 34

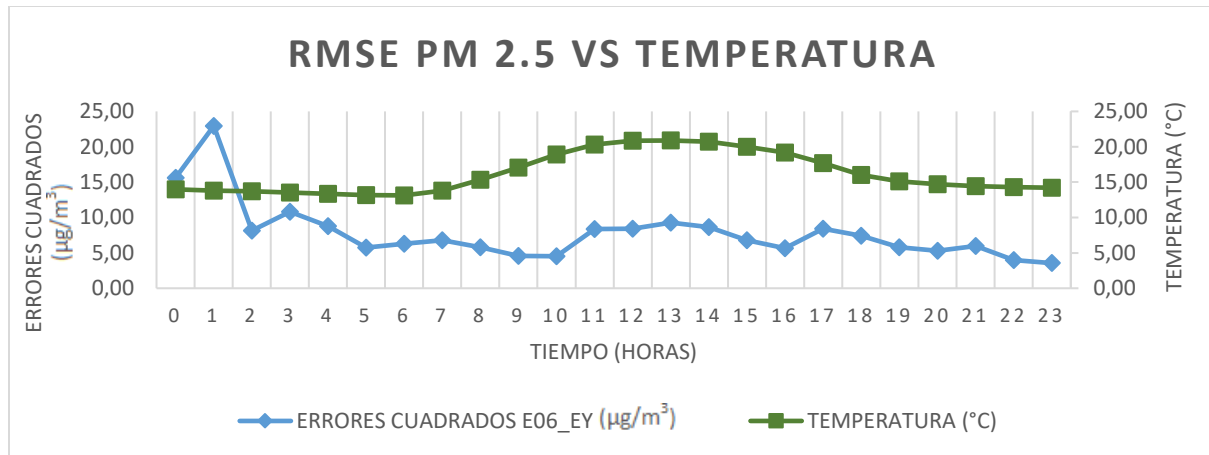
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E06_EY)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E06_EY (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	15,59	14,00	90,84
1	22,95	13,81	91,01
2	8,14	13,70	90,78
3	10,79	13,51	91,34
4	8,76	13,36	92,19
5	5,74	13,18	91,92
6	6,30	13,13	91,55
7	6,77	13,79	88,49
8	5,81	15,34	80,48
9	4,56	17,05	71,19
10	4,53	18,91	61,51
11	8,37	20,29	54,60
12	8,40	20,87	51,34
13	9,29	20,89	52,34
14	8,65	20,74	54,07
15	6,77	20,01	58,77
16	5,64	19,18	64,20
17	8,42	17,67	72,10
18	7,41	16,03	80,88
19	5,78	15,12	85,80
20	5,30	14,69	88,23
21	5,95	14,42	89,35
22	4,00	14,29	89,79
23	3,55	14,20	90,26

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E06_EY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación

En la Figura 51 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 0:00 horas con 14 °C y a las 1:00 horas con 13,81 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

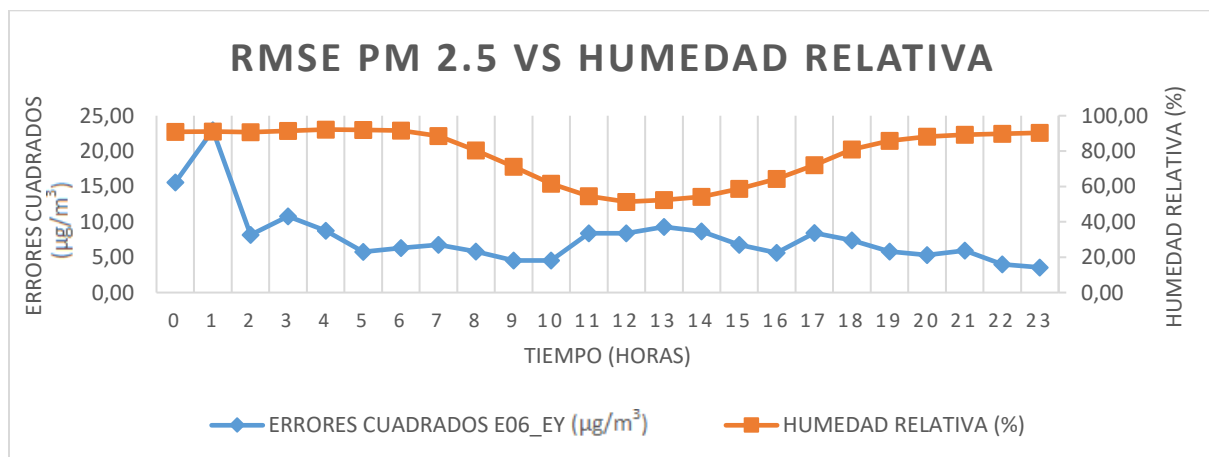
Figura 51
RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 52 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 0:00 horas con el 90,84 % HR y a las 1:00 horas con el 91,01 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 52
RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.8. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 35

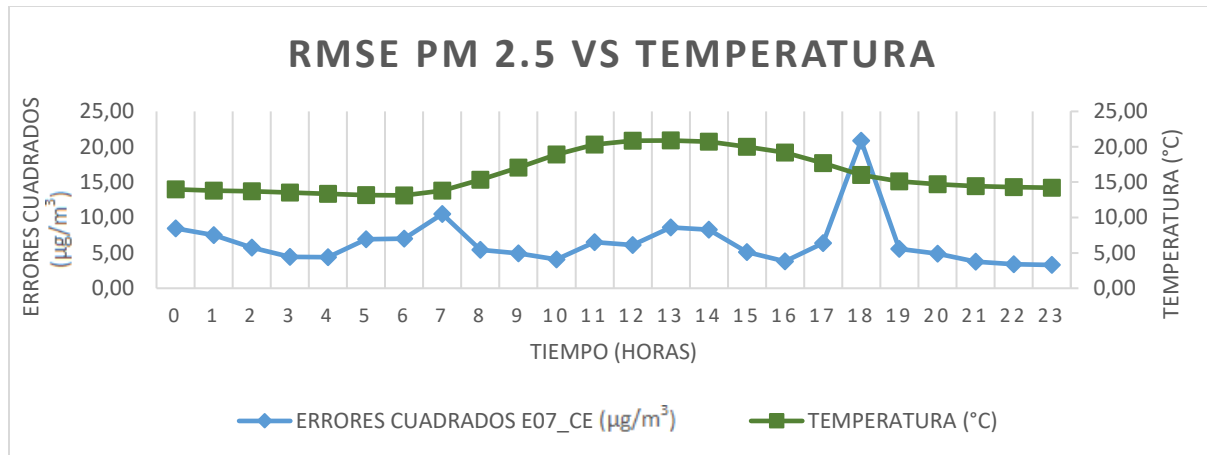
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E07_CE)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E07_CE (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	8,46	14,00	90,84
1	7,50	13,81	91,01
2	5,73	13,70	90,78
3	4,42	13,51	91,34
4	4,40	13,36	92,19
5	6,91	13,18	91,92
6	7,03	13,13	91,55
7	10,48	13,79	88,49
8	5,43	15,34	80,48
9	4,94	17,05	71,19
10	4,08	18,91	61,51
11	6,51	20,29	54,60
12	6,11	20,87	51,34
13	8,62	20,89	52,34
14	8,27	20,74	54,07
15	5,11	20,01	58,77
16	3,79	19,18	64,20
17	6,38	17,67	72,10
18	20,85	16,03	80,88
19	5,56	15,12	85,80
20	4,90	14,69	88,23
21	3,74	14,42	89,35
22	3,38	14,29	89,79
23	3,29	14,20	90,26

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E07_CE junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 53 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 7:00 horas con 13,79 °C y a las 18:00 horas con 16,03 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

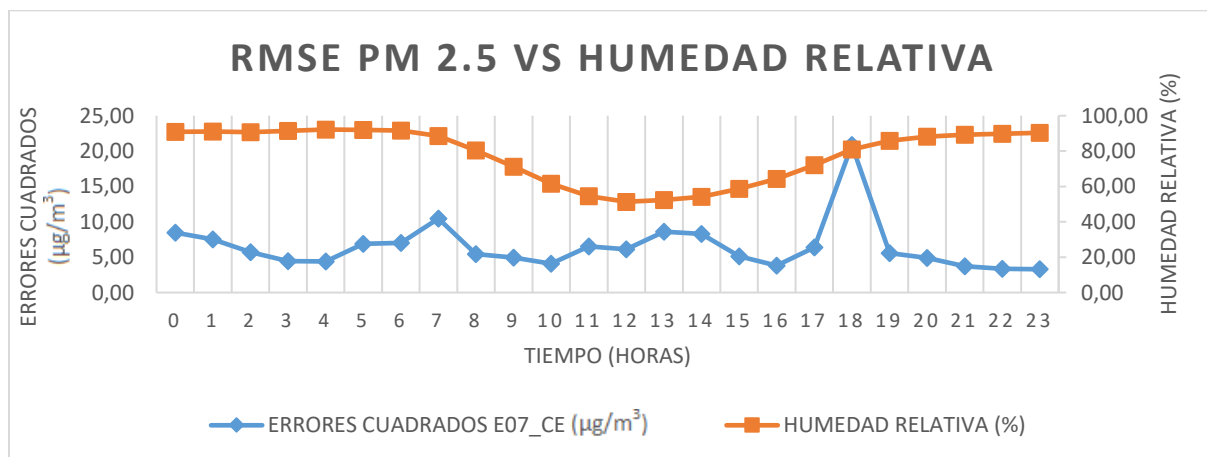
Figura 53
RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)



Nota. Representación de los datos de (RMSE) y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 54 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 7:00 horas con el 88,49 % HR y a las 18:00 horas con el 80,88 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 54
RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.9. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE ENERO 2021.

Tabla 36

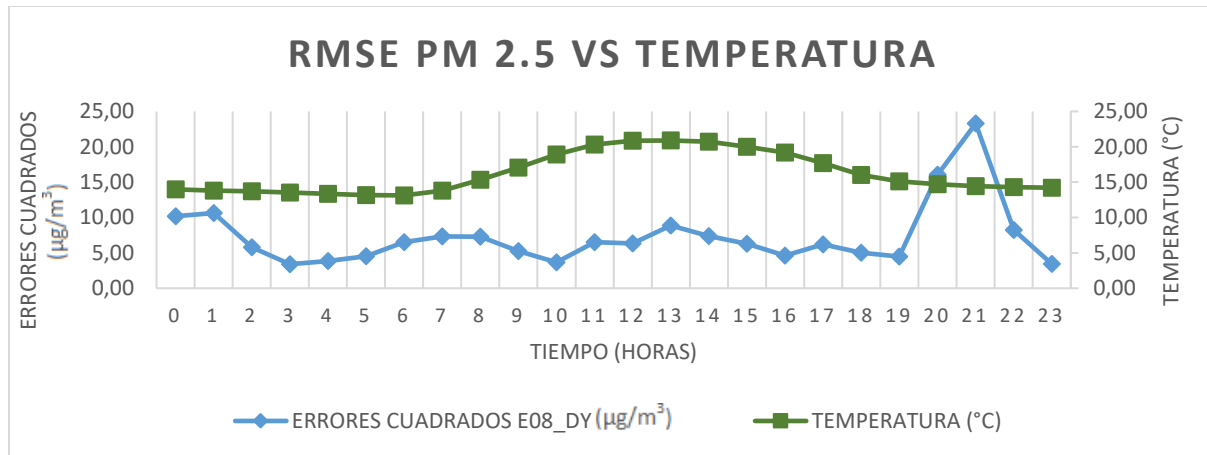
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E08_DY)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	10,19	14,00	90,84
1	10,65	13,81	91,01
2	5,79	13,70	90,78
3	3,40	13,51	91,34
4	3,83	13,36	92,19
5	4,52	13,18	91,92
6	6,50	13,13	91,55
7	7,33	13,79	88,49
8	7,26	15,34	80,48
9	5,26	17,05	71,19
10	3,69	18,91	61,51
11	6,53	20,29	54,60
12	6,35	20,87	51,34
13	8,88	20,89	52,34
14	7,36	20,74	54,07
15	6,29	20,01	58,77
16	4,60	19,18	64,20
17	6,19	17,67	72,10
18	5,00	16,03	80,88
19	4,46	15,12	85,80
20	16,08	14,69	88,23
21	23,29	14,42	89,35
22	8,24	14,29	89,79
23	3,43	14,20	90,26

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al (RMSE) del sensor E08_DY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de enero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 55 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 20:00 horas con 14,69 °C y a las 21:00 horas con 14,42 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

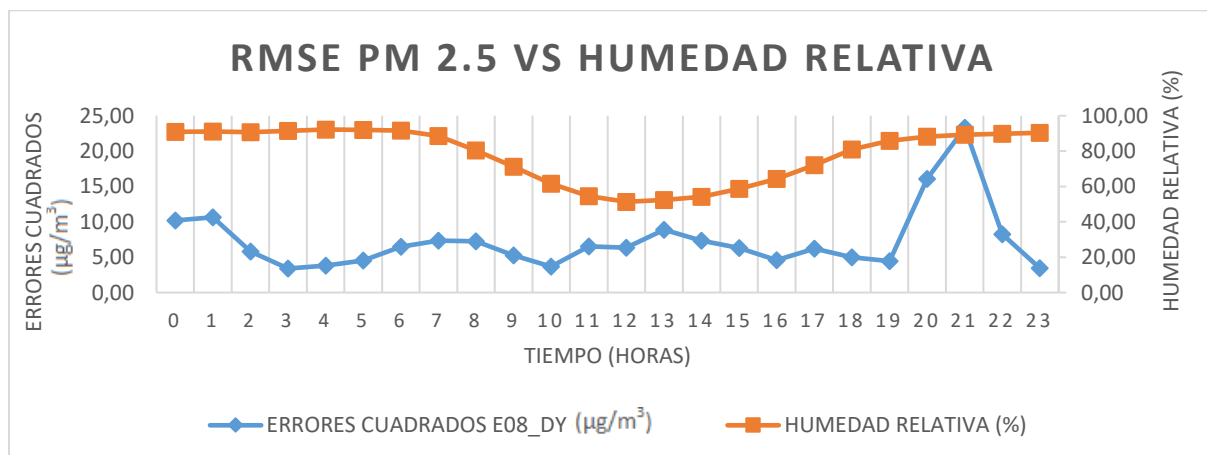
Figura 55
RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 56 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 20:00 horas con el 88,23 % HR y a las 21:00 horas el 89,35 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 56
RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)



Nota. Representación de los datos de (RMSE) y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.2.10. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE ENERO AÑO 2021 SENSORES E05- E08
Y ESTACION DE TUMBACO.**

Tabla 37

Medias mes de enero 2021

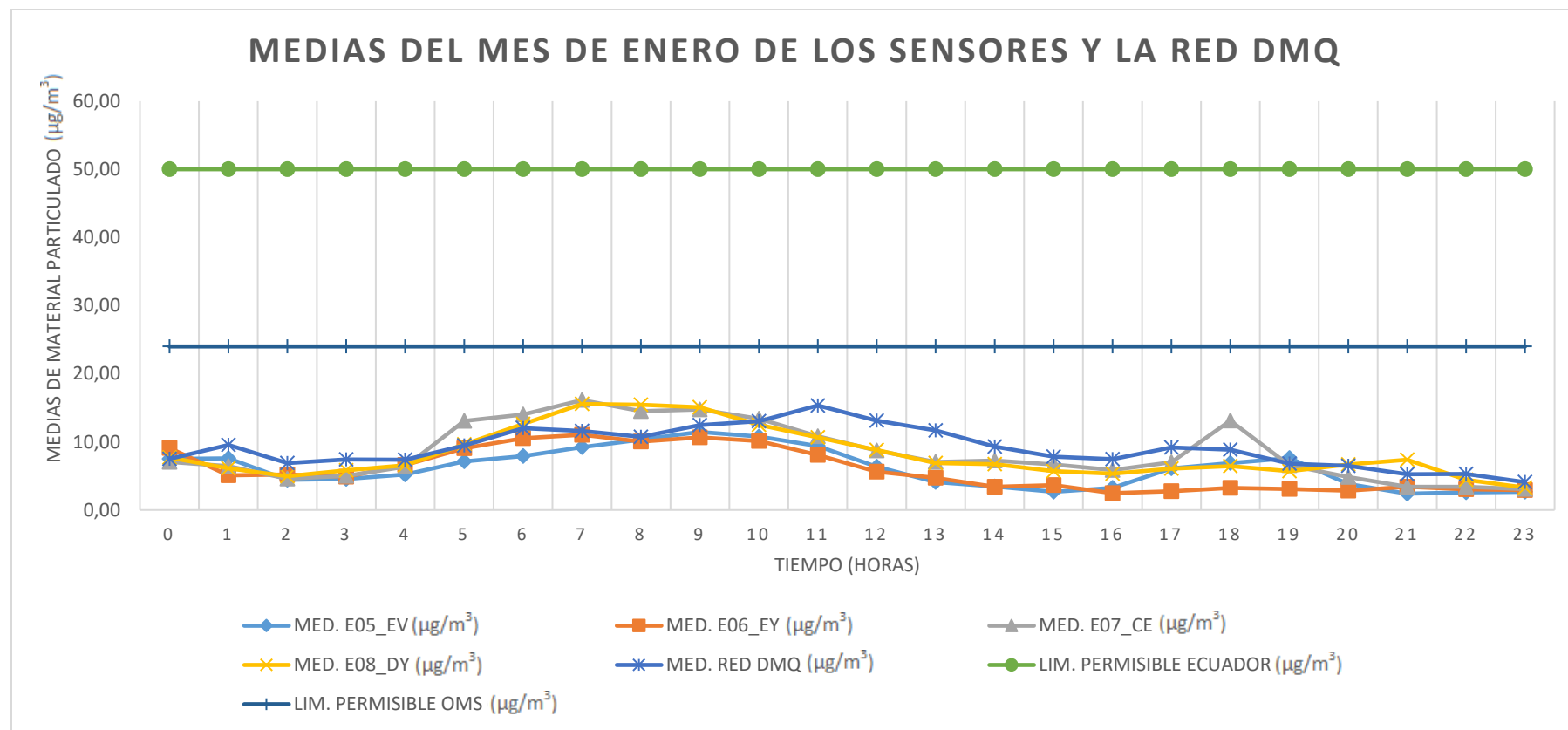
TIEMPO (HORAS)	MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LIM. PERMISIBLE OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	7,50	9,11	7,05	7,72	7,49	50,00	24,00
1	7,59	5,07	6,44	6,09	9,56	50,00	24,00
2	4,41	5,19	4,58	4,97	6,90	50,00	24,00
3	4,55	4,88	4,99	5,83	7,40	50,00	24,00
4	5,22	6,60	6,35	6,55	7,39	50,00	24,00
5	7,14	9,05	13,07	9,62	9,48	50,00	24,00
6	7,91	10,55	14,02	12,60	12,02	50,00	24,00
7	9,21	11,04	16,13	15,56	11,58	50,00	24,00
8	10,34	10,05	14,49	15,44	10,74	50,00	24,00
9	11,45	10,64	14,74	15,09	12,45	50,00	24,00
10	10,79	10,11	13,41	12,51	13,01	50,00	24,00
11	9,40	8,08	10,82	10,66	15,34	50,00	24,00
12	6,36	5,63	8,71	8,79	13,13	50,00	24,00
13	4,09	4,73	7,04	6,88	11,69	50,00	24,00
14	3,45	3,41	7,24	6,73	9,30	50,00	24,00
15	2,67	3,63	6,70	5,68	7,81	50,00	24,00
16	3,25	2,47	5,86	5,34	7,44	50,00	24,00
17	6,11	2,76	7,03	6,06	9,19	50,00	24,00
18	6,90	3,23	13,09	6,43	8,86	50,00	24,00
19	7,63	3,08	6,57	5,72	6,81	50,00	24,00
20	3,84	2,85	4,86	6,67	6,48	50,00	24,00
21	2,39	3,42	3,42	7,37	5,23	50,00	24,00
22	2,58	3,03	3,42	4,42	5,30	50,00	24,00
23	2,65	2,92	3,07	3,29	4,09	50,00	24,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 57 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 57

Medias de los sensores y red DMQ mes de enero



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.11. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 38

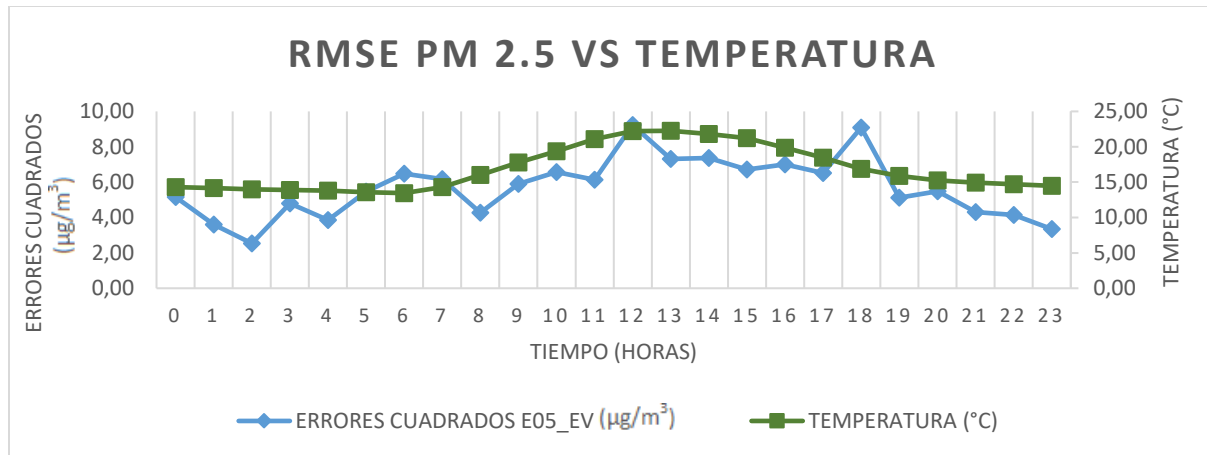
Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E05_EV)

TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E05_EV (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	5,16	14,30	88,71
1	3,60	14,17	89,06
2	2,54	13,98	89,88
3	4,80	13,87	90,15
4	3,85	13,79	90,29
5	5,47	13,59	90,43
6	6,48	13,45	90,36
7	6,17	14,31	85,93
8	4,28	16,02	77,40
9	5,90	17,80	67,96
10	6,58	19,38	59,90
11	6,14	21,10	51,74
12	9,23	22,19	47,56
13	7,32	22,26	47,54
14	7,36	21,79	50,01
15	6,72	21,20	53,46
16	7,01	19,88	59,73
17	6,51	18,47	66,99
18	9,08	16,89	74,97
19	5,12	15,86	81,02
20	5,48	15,23	84,97
21	4,32	14,91	87,14
22	4,15	14,69	88,15
23	3,36	14,49	88,91

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E05_EV junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 58 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con 22,19 °C y a las 18:00 horas con 16,89 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

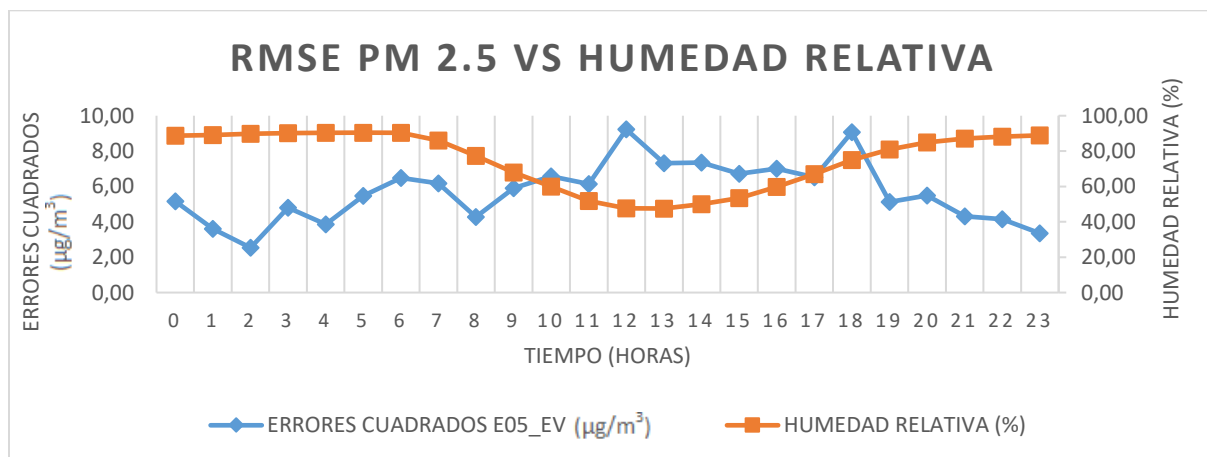
Figura 58
RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 59 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 12:00 horas con el 47,56 % HR y a las 18:00 horas con el 74,97 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 59
RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.12. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 39

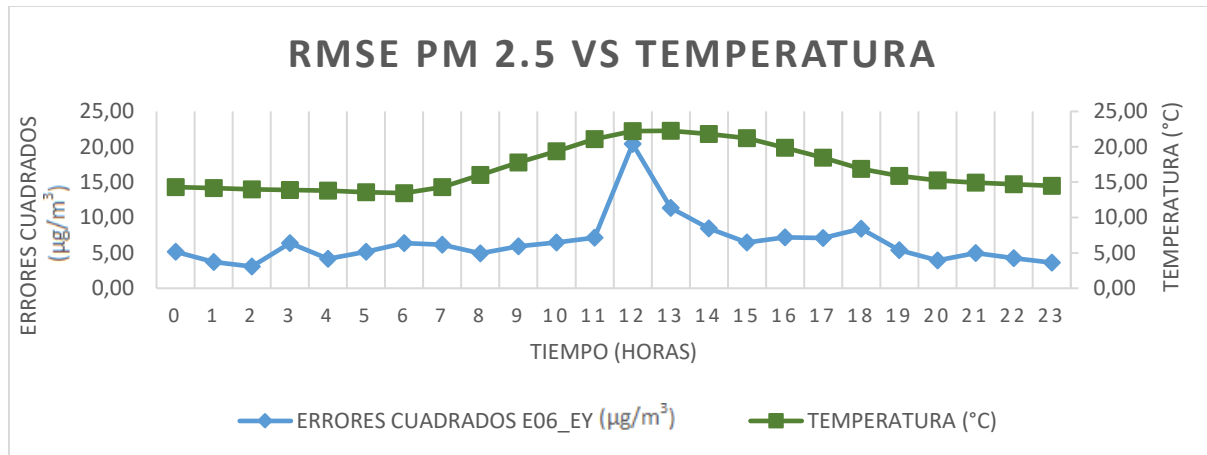
Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E06_EY)

HORAS (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	5,14	14,30	88,71
1	3,73	14,17	89,06
2	3,07	13,98	89,88
3	6,40	13,87	90,15
4	4,15	13,79	90,29
5	5,14	13,59	90,43
6	6,37	13,45	90,36
7	6,14	14,31	85,93
8	4,95	16,02	77,40
9	5,95	17,80	67,96
10	6,46	19,38	59,90
11	7,14	21,10	51,74
12	20,39	22,19	47,56
13	11,34	22,26	47,54
14	8,47	21,79	50,01
15	6,49	21,20	53,46
16	7,21	19,88	59,73
17	7,11	18,47	66,99
18	8,43	16,89	74,97
19	5,36	15,86	81,02
20	3,94	15,23	84,97
21	4,97	14,91	87,14
22	4,25	14,69	88,15
23	3,61	14,49	88,91

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E06_EY junto con los datos de humedad y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 60 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos un pico elevado de RMSE a las 12:00 horas con 22,19 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

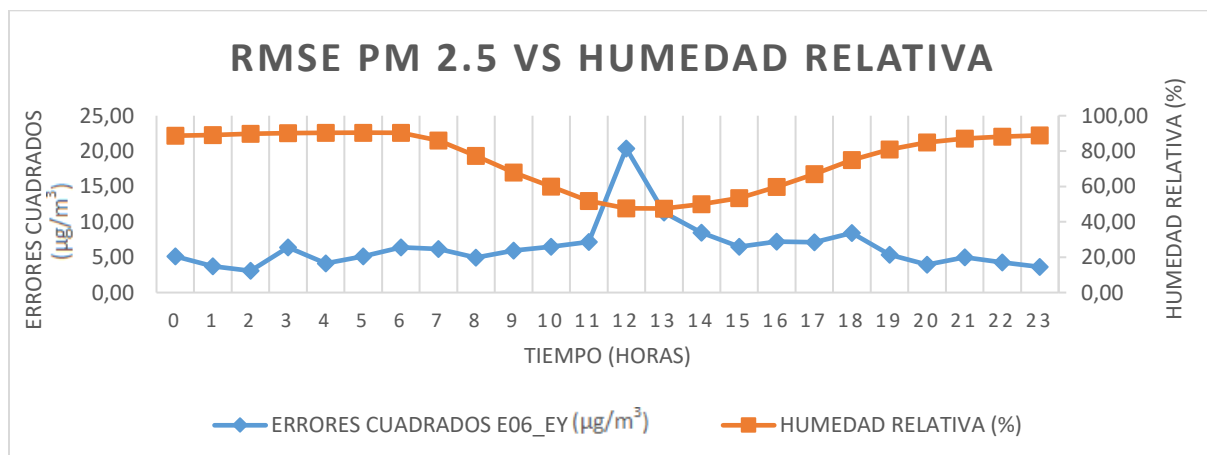
Figura 60
RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 61 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos un pico elevado de RMSE a las 12:00 horas con el 47,56 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 61
RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.13. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 40

Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E07_CE)

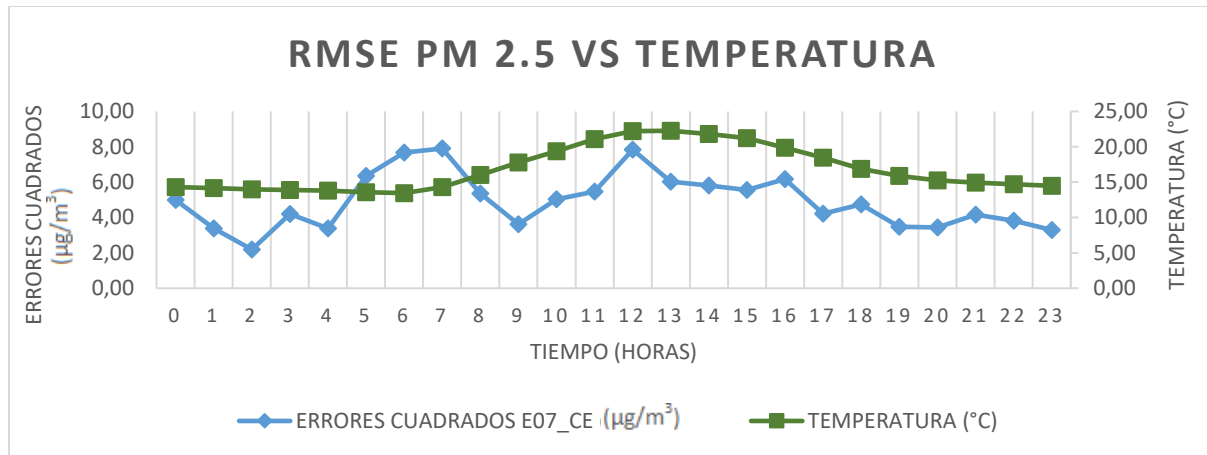
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E07_CE (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	5,00	14,30	88,71
1	3,39	14,17	89,06
2	2,19	13,98	89,88
3	4,19	13,87	90,15
4	3,38	13,79	90,29
5	6,36	13,59	90,43
6	7,67	13,45	90,36
7	7,90	14,31	85,93
8	5,36	16,02	77,40
9	3,61	17,80	67,96
10	5,03	19,38	59,90
11	5,47	21,10	51,74
12	7,84	22,19	47,56
13	6,03	22,26	47,54
14	5,81	21,79	50,01
15	5,56	21,20	53,46
16	6,16	19,88	59,73
17	4,21	18,47	66,99
18	4,74	16,89	74,97
19	3,48	15,86	81,02
20	3,44	15,23	84,97
21	4,16	14,91	87,14
22	3,82	14,69	88,15
23	3,29	14,49	88,91

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E07_CE junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 62 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 6:00 horas con 13,45 °C, 7:00 horas con 14,31 °C y a las 12:00 con 22,19 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 62

RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)

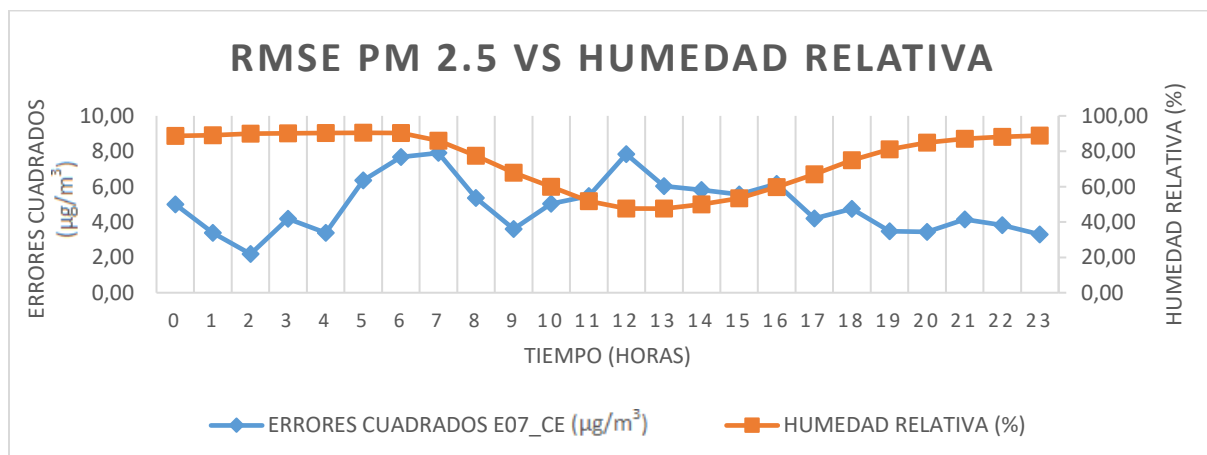


Nota. Representación de los datos de (RMSE) y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 63 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 6:00 horas con el 90,36 % HR, 7:00 horas con el 85,93 % HR y a las 12:00 con el 47,56% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 63

RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.14. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE FEBRERO 2021.

Tabla 41

Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E08_DY)

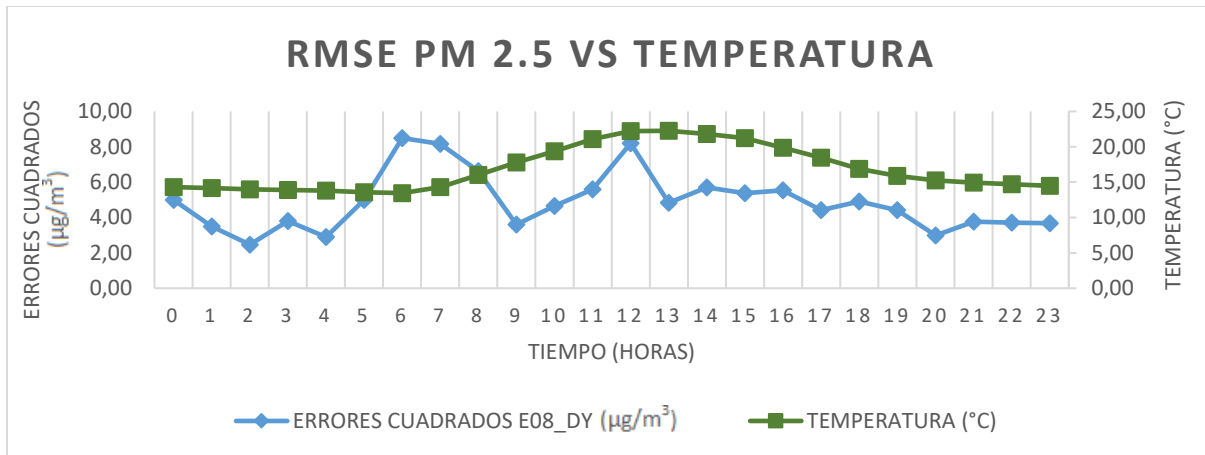
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E08_DY (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	4,99	14,30	88,71
1	3,49	14,17	89,06
2	2,47	13,98	89,88
3	3,80	13,87	90,15
4	2,90	13,79	90,29
5	4,99	13,59	90,43
6	8,49	13,45	90,36
7	8,16	14,31	85,93
8	6,63	16,02	77,40
9	3,60	17,80	67,96
10	4,65	19,38	59,90
11	5,59	21,10	51,74
12	8,19	22,19	47,56
13	4,83	22,26	47,54
14	5,70	21,79	50,01
15	5,37	21,20	53,46
16	5,53	19,88	59,73
17	4,41	18,47	66,99
18	4,91	16,89	74,97
19	4,41	15,86	81,02
20	2,98	15,23	84,97
21	3,77	14,91	87,14
22	3,71	14,69	88,15
23	3,67	14,49	88,91

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E08_DY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de febrero año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 64 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados a las 6:00 horas con 13,45 °C, a las 7:00 horas con 14,31 °C y a las 12:00 horas con 22,19 °C, lo que quiere decir que, a mayor temperatura ambiental registrada, el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 64

RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY)

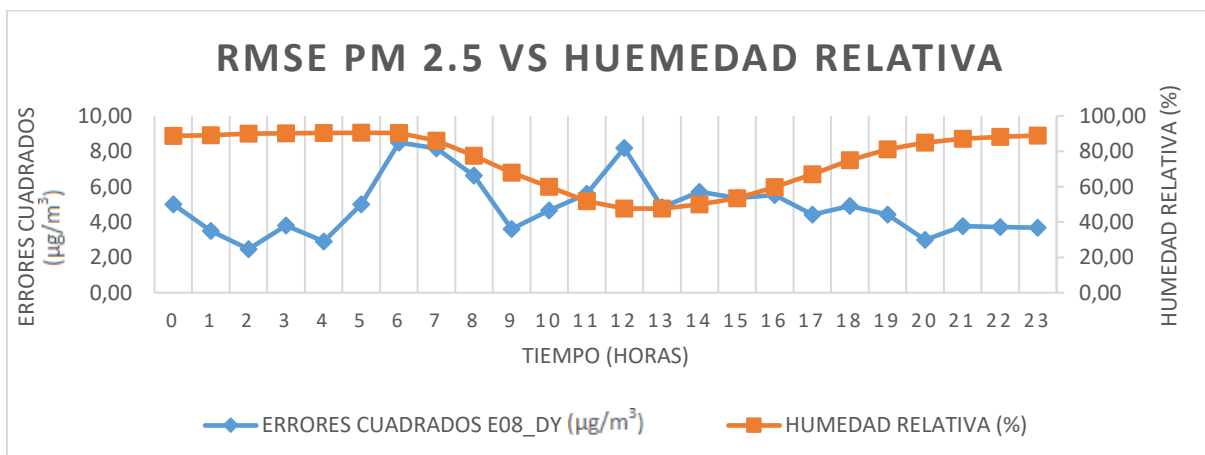


Nota. Representación de los datos de (RMSE) y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 65 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 6:00 horas con el 90,36 % HR, 7:00 horas con el 85,93 % y a las 12:00 con el 47,56% HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 65

RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.2.15. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE FEBRERO AÑO 2021 SENSORES E05-
E08 Y ESTACION DE TUMBACO.**

Tabla 42

Medias mes de febrero 2021

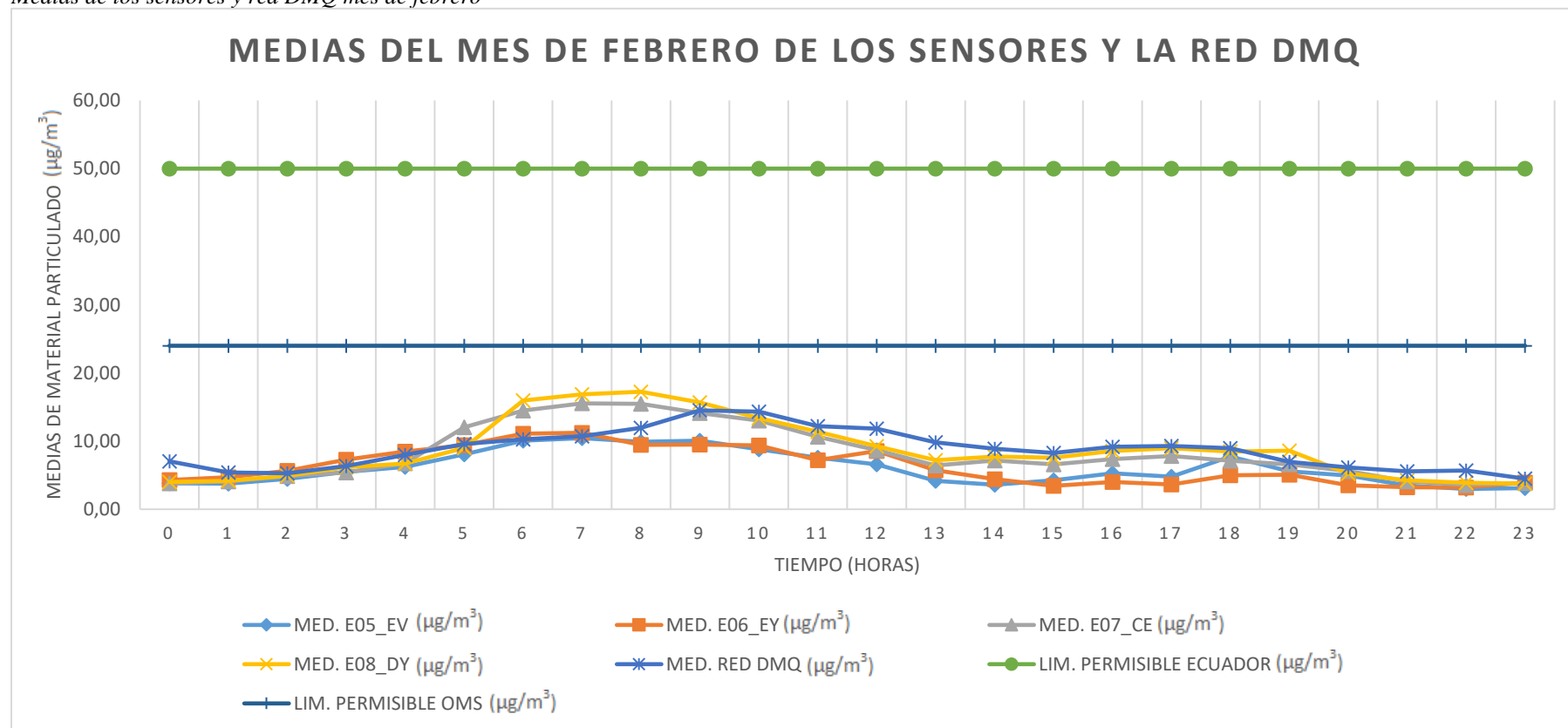
TIEMPO (HORAS)	MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	LIM. PERMISIBLE OMS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0	3,79	4,29	3,82	4,00	7,04	50,00	24,00
1	3,76	4,70	4,08	4,16	5,41	50,00	24,00
2	4,45	5,63	4,85	4,93	5,27	50,00	24,00
3	5,49	7,30	5,39	6,19	6,35	50,00	24,00
4	6,20	8,46	6,77	6,71	7,97	50,00	24,00
5	8,06	9,43	12,01	9,02	9,56	50,00	24,00
6	10,06	11,10	14,51	15,96	10,26	50,00	24,00
7	10,44	11,23	15,54	16,86	10,72	50,00	24,00
8	9,91	9,47	15,46	17,25	11,97	50,00	24,00
9	10,07	9,50	14,14	15,70	14,52	50,00	24,00
10	8,81	9,38	13,00	13,39	14,32	50,00	24,00
11	7,57	7,21	10,62	11,38	12,21	50,00	24,00
12	6,60	8,57	8,67	9,23	11,81	50,00	24,00
13	4,16	5,75	6,43	7,18	9,83	50,00	24,00
14	3,58	4,41	7,16	7,73	8,89	50,00	24,00
15	4,25	3,42	6,58	7,55	8,25	50,00	24,00
16	5,29	4,02	7,38	8,56	9,15	50,00	24,00
17	4,77	3,63	7,81	8,95	9,29	50,00	24,00
18	7,74	5,00	7,13	8,49	8,96	50,00	24,00
19	5,55	5,09	6,60	8,59	6,97	50,00	24,00
20	4,96	3,50	5,60	5,25	6,14	50,00	24,00
21	3,46	3,24	4,11	4,27	5,55	50,00	24,00
22	2,98	3,19	3,57	3,87	5,68	50,00	24,00
23	3,12	3,91	3,86	3,77	4,49	50,00	24,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 66 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS.

Figura 66

Medias de los sensores y red DMQ mes de febrero



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.16. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E05_EV Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 43

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E05_EV)

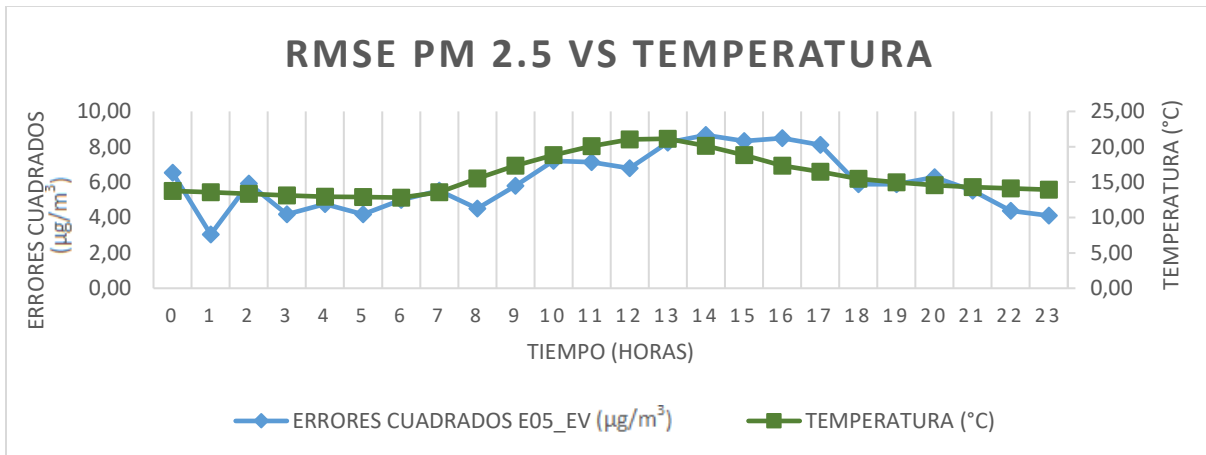
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	6,53	13,74	91,60
1	3,04	13,58	91,61
2	5,92	13,35	92,33
3	4,18	13,11	92,73
4	4,76	12,96	92,90
5	4,18	12,87	92,79
6	4,99	12,82	92,80
7	5,52	13,58	89,33
8	4,50	15,53	79,79
9	5,80	17,31	70,50
10	7,21	18,83	62,26
11	7,13	20,10	55,44
12	6,79	21,05	50,80
13	8,23	21,13	51,29
14	8,66	20,14	57,38
15	8,32	18,81	65,81
16	8,50	17,34	73,42
17	8,10	16,46	77,39
18	5,88	15,47	82,22
19	5,89	14,96	85,23
20	6,27	14,58	87,40
21	5,52	14,30	89,04
22	4,39	14,12	89,49
23	4,11	13,92	90,69

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E05_EV junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 67 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a partir de las 13:00 horas hasta las 17:00 horas con temperaturas de 21,13 °C y 16,46 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 67

RMSE vs temperatura (Sensor E05_EV)

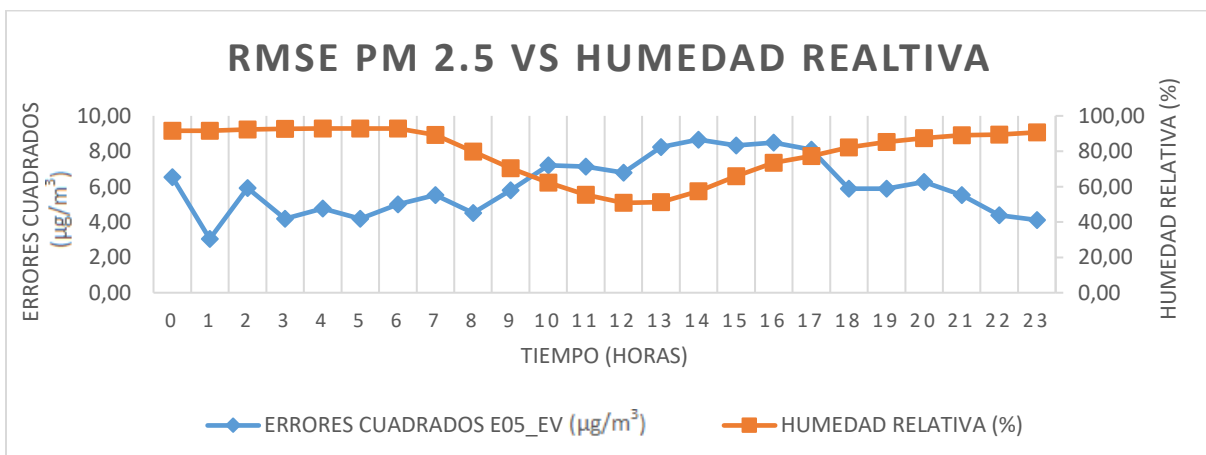


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 68 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E05_EV y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual se observa picos elevados de RMSE a partir de las 13:00 horas hasta las 17:00 horas con una humedad relativa de 51,29 % HR y 77,39 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E05_EV y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 68

RMSE vs humedad relativa (Sensor E05_EV)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.17. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM2,5 DEL SENSOR E06_EY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 44

Resultados del monitoreo PM2,5 (Sensor E06_EY)

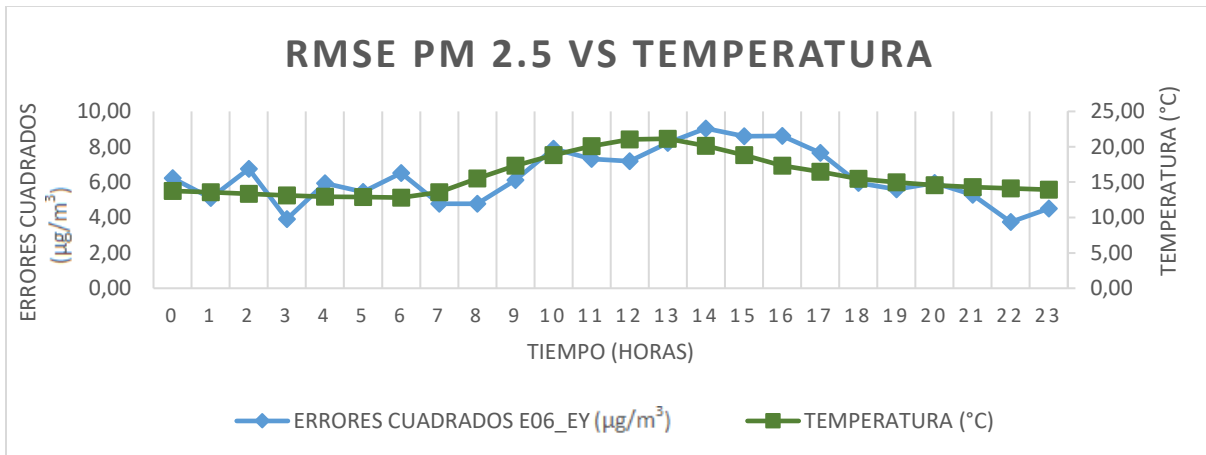
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	6,23	13,74	91,60
1	5,11	13,58	91,61
2	6,76	13,35	92,33
3	3,91	13,11	92,73
4	5,93	12,96	92,90
5	5,44	12,87	92,79
6	6,52	12,82	92,80
7	4,78	13,58	89,33
8	4,78	15,53	79,79
9	6,11	17,31	70,50
10	7,89	18,83	62,26
11	7,31	20,10	55,44
12	7,18	21,05	50,80
13	8,22	21,13	51,29
14	9,04	20,14	57,38
15	8,60	18,81	65,81
16	8,62	17,34	73,42
17	7,65	16,46	77,39
18	5,95	15,47	82,22
19	5,59	14,96	85,23
20	5,96	14,58	87,40
21	5,28	14,30	89,04
22	3,74	14,12	89,49
23	4,51	13,92	90,69
23	4,51	13,92	90,69

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E06_EY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 69 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM2,5) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE de 14:00 horas a 16:00 horas con 20,14 °C y 17,34 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 69

RMSE vs temperatura (Sensor E06_EY)

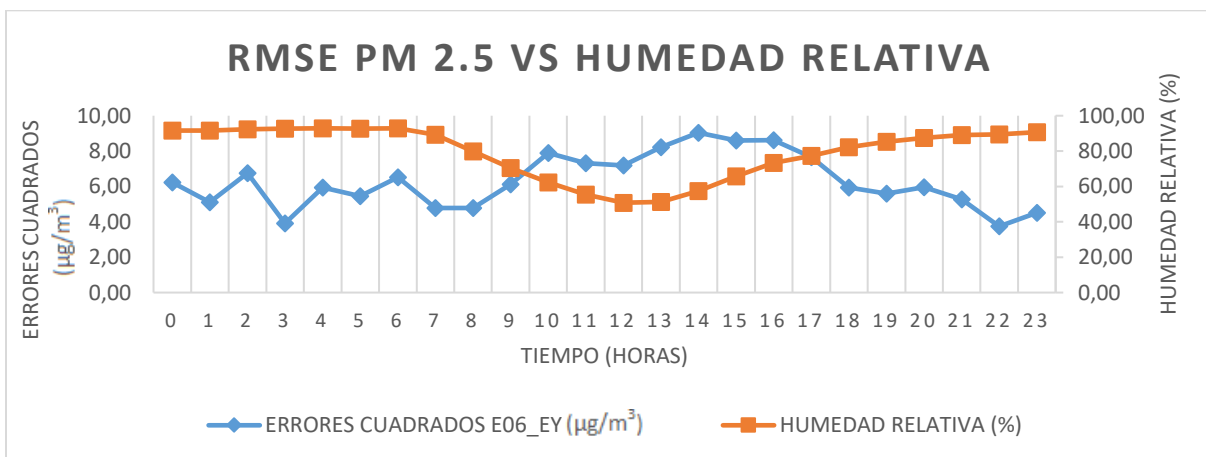


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 70 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E06_EY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE de 14:00 horas a 16:00 horas con el 57,38 % HR y 73,42 % HR lo que quiere decir que, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E06_EY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 70

RMSE vs humedad relativa (Sensor E06_EY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.18. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E07_CE Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 45

Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E07_CE)

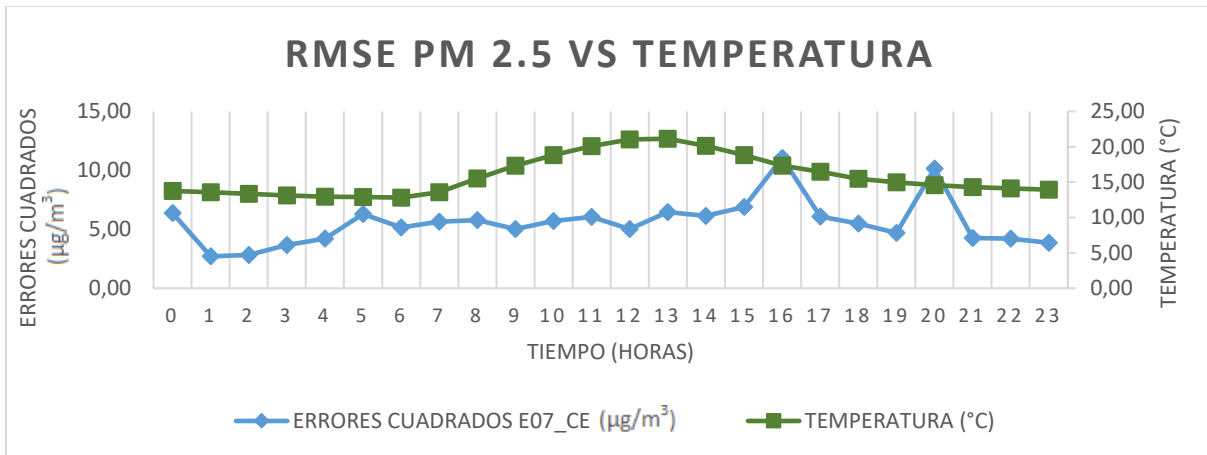
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E07_CE (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	6,39	13,74	91,60
1	2,70	13,58	91,61
2	2,83	13,35	92,33
3	3,67	13,11	92,73
4	4,21	12,96	92,90
5	6,29	12,87	92,79
6	5,16	12,82	92,80
7	5,64	13,58	89,33
8	5,77	15,53	79,79
9	5,02	17,31	70,50
10	5,70	18,83	62,26
11	6,05	20,10	55,44
12	5,02	21,05	50,80
13	6,47	21,13	51,29
14	6,13	20,14	57,38
15	6,90	18,81	65,81
16	11,06	17,34	73,42
17	6,08	16,46	77,39
18	5,48	15,47	82,22
19	4,70	14,96	85,23
20	10,15	14,58	87,40
21	4,27	14,30	89,04
22	4,21	14,12	89,49
23	3,86	13,92	90,69

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E07_CE junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 71 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 16:00 horas con 17,34 °C y a las 20:00 horas con 14,58 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 71

RMSE vs temperatura (Sensor E07_CE)

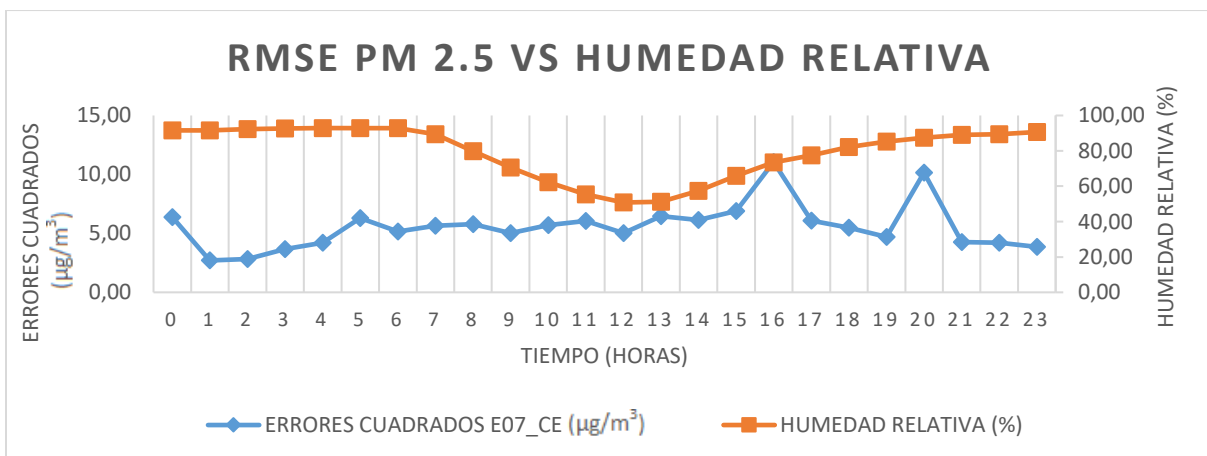


Nota. Representación de los datos de RMSE y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 72 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E07_CE y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 16:00 horas con el 73,42 % HR y a las 20:00 horas con el 87,40 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E07_CE y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 72

RMSE vs humedad relativa (Sensor E07_CE)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.2.19. RMSE ENTRE LAS MEDICIONES DE PM_{2,5} DEL SENSOR E08_DY Y LA ESTACIÓN DE TUMBACO, Y SU RELACIÓN CON TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DE MARZO 2021.

Tabla 46

Resultados del monitoreo PM_{2,5} (Sensor E08_DY)

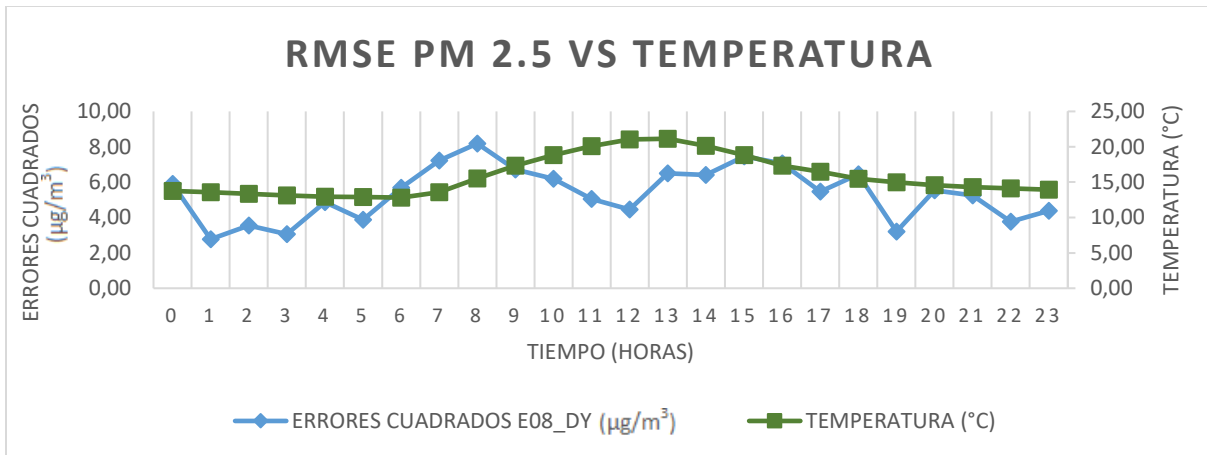
TIEMPO (HORAS)	ERRORES CUADRADOS E08_DY (µg/m³)	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)
0	5,90	13,74	91,60
1	2,77	13,58	91,61
2	3,54	13,35	92,33
3	3,06	13,11	92,73
4	4,87	12,96	92,90
5	3,88	12,87	92,79
6	5,68	12,82	92,80
7	7,22	13,58	89,33
8	8,18	15,53	79,79
9	6,71	17,31	70,50
10	6,19	18,83	62,26
11	5,04	20,10	55,44
12	4,46	21,05	50,80
13	6,49	21,13	51,29
14	6,41	20,14	57,38
15	7,46	18,81	65,81
16	7,05	17,34	73,42
17	5,46	16,46	77,39
18	6,45	15,47	82,22
19	3,20	14,96	85,23
20	5,53	14,58	87,40
21	5,26	14,30	89,04
22	3,76	14,12	89,49
23	4,37	13,92	90,69

Nota. La tabla representa los datos correspondientes al RMSE del sensor E08_DY junto con los datos de humedad relativa y temperatura del mes de marzo año 2021. Fuente: La investigación.

En la Figura 73 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de temperatura ambiental, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 8:00 horas con 15,53 °C y a las 15:00 horas con 18,41 °C, lo que quiere decir que, generalmente, a mayor temperatura ambiental registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 73

RMSE vs temperatura (Sensor E08_DY)

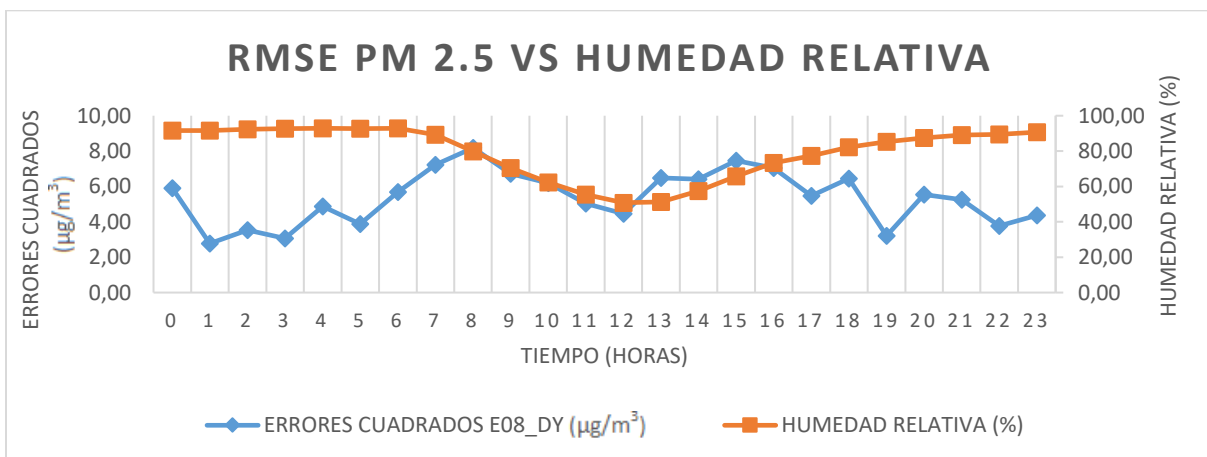


Nota. Representación de los datos de (RMSE) y temperatura en 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 74 se representa el comportamiento del RMSE de los valores (PM_{2,5}) del sensor E08_DY y la estación de la red DMQ respecto a los valores de humedad relativa, en la cual observamos picos elevados de RMSE a las 8:00 horas con el 79,79 % HR y a las 15:00 horas con el 65,81 % HR, lo que quiere decir que, generalmente, a menor humedad relativa registrada el error entre las mediciones del sensor E08_DY y la Estación de Tumbaco, se incrementa.

Figura 74

RMSE vs humedad relativa (Sensor E08_DY)



Nota. Representación de los datos de RMSE y humedad relativa en 24 horas. Fuente: La investigación.

**4.2.20. NO CUMPLIMIENTO DE LOS LIMITES PERMISIBLES DE LOS
PROMEDIOS DE PM 2,5 MES DE MARZO AÑO 2021 SENSORES E05- E08
Y ESTACION DE TUMBACO.**

Tabla 47

Medias mes de marzo 2021

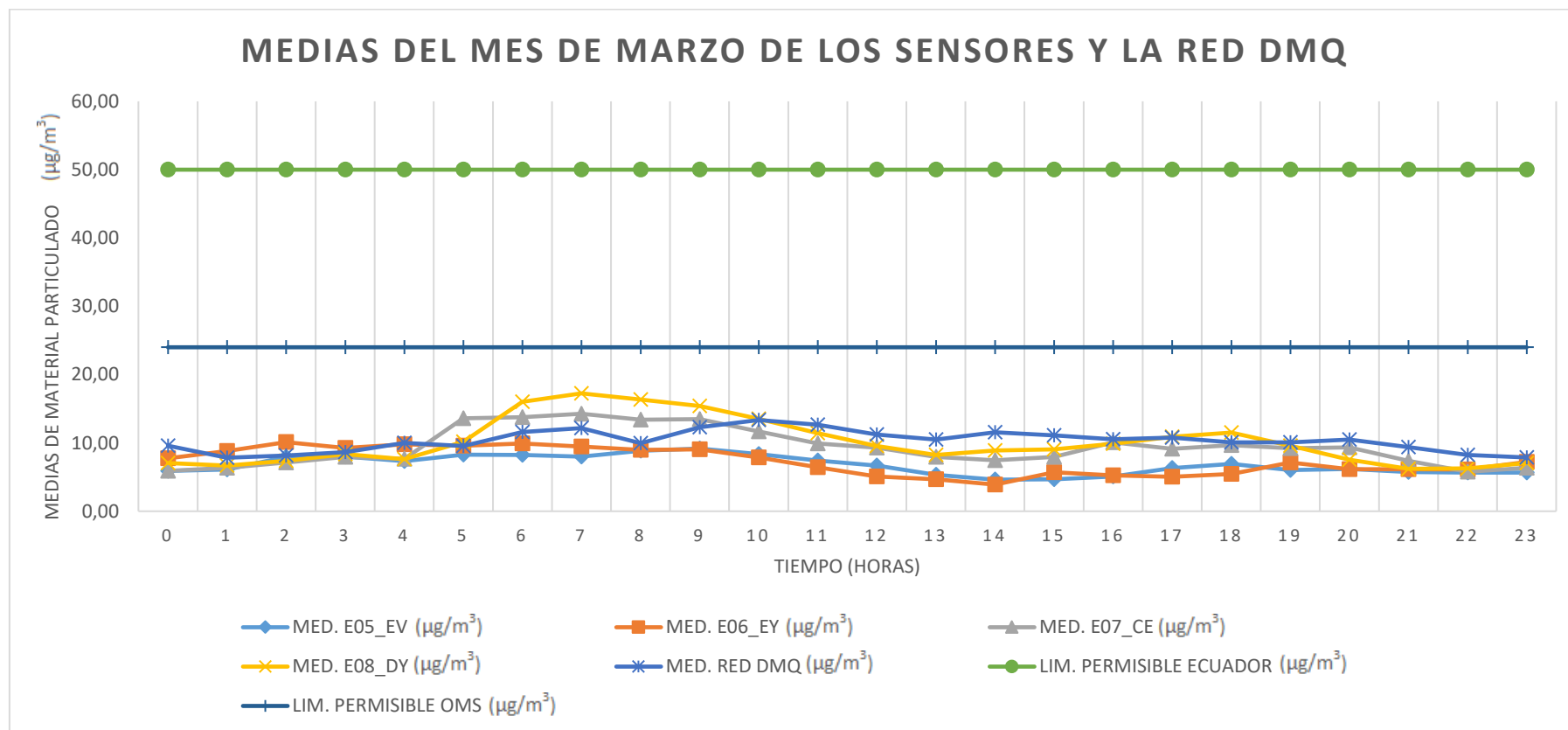
TIEMPO (HORAS)	MED. E05_EV (µg/m³)	MED. E06_EY (µg/m³)	MED. E07_CE (µg/m³)	MED. E08_DY (µg/m³)	MED. RED DMQ (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE ECUADOR (µg/m³)	LIM. PERMISIBLE OMS (µg/m³)
0	5,90	7,76	5,90	7,04	9,59	50,00	24,00
1	6,09	8,79	6,37	6,70	7,83	50,00	24,00
2	7,97	10,11	7,13	7,36	8,15	50,00	24,00
3	7,99	9,27	7,93	8,37	8,65	50,00	24,00
4	7,32	9,78	7,67	7,62	10,02	50,00	24,00
5	8,28	9,59	13,62	10,18	9,55	50,00	24,00
6	8,24	9,94	13,76	16,01	11,61	50,00	24,00
7	8,01	9,48	14,27	17,26	12,17	50,00	24,00
8	8,86	8,98	13,42	16,36	9,95	50,00	24,00
9	9,18	9,05	13,48	15,42	12,28	50,00	24,00
10	8,35	7,87	11,68	13,54	13,35	50,00	24,00
11	7,43	6,45	9,90	11,45	12,67	50,00	24,00
12	6,67	5,07	9,30	9,53	11,24	50,00	24,00
13	5,34	4,68	7,95	8,26	10,47	50,00	24,00
14	4,62	3,90	7,48	8,90	11,57	50,00	24,00
15	4,69	5,69	7,94	9,05	11,11	50,00	24,00
16	5,08	5,23	10,08	9,90	10,53	50,00	24,00
17	6,32	5,05	9,12	10,89	10,78	50,00	24,00
18	6,93	5,46	9,67	11,52	10,08	50,00	24,00
19	6,02	7,13	9,21	9,60	10,09	50,00	24,00
20	6,20	6,15	9,36	7,56	10,51	50,00	24,00
21	5,75	6,13	7,39	6,21	9,37	50,00	24,00
22	5,64	6,10	5,78	6,25	8,23	50,00	24,00
23	5,65	7,22	6,35	7,06	7,88	50,00	24,00

Nota. En la tabla encontramos los datos pertenecientes a las medias correspondientes a los 4 sensores y a la red DMQ al igual que los límites permisibles con respecto a la legislación ecuatoriana y a las guías de la OMS en un periodo de 24 horas. Fuente: La investigación.

En la Figura 75 se puede observar el comportamiento de los valores (PM_{2,5}) correspondientes a las medias de los 4 sensores y la red DMQ junto con los límites permisibles en un periodo de 24 horas establecidos por la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS

Figura 75

Medias de los sensores y red DMQ mes de marzo



Nota. Representación de los datos de medias de los sensores de bajo costo, la red DMQ y los límites permisibles de la legislación ecuatoriana y las guías de la OMS en 24 horas. Fuente: La investigación.

4.3. ANOVA CAMAL METROPOLITANO

4.3.1. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020

Tabla 48

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	222,99	9,29	17,7988448	409,373431	0,84688021
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	168,16	7,01	15,6803711	360,648535	0,84688021
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	215,18	8,97	15,983592	367,622615	0,84688021
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	192,21	8,01	19,7298966	453,787621	0,84688021
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	448,57	18,69	16,8720268	388,056615	0,84688021

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 49 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de diciembre año 2020 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación de la DMQ.

Tabla 49

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	2142,03354	535,508385	31,1107917	1,49871E-17	0,51971902	1,13854424
Within Groups	1979,48882	17,2129462				
Total	4121,52236	34,6346417				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.3.2. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de enero año /2021

Tabla 50

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	195,99	8,17	26,8886933	618,439947	0,98583914
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	160,13	6,67	12,78866	294,1391792	0,98583914
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	206,51	8,60	17,9355564	412,5177975	0,98583914
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	195,39	8,14	18,9280667	435,3455351	0,98583914
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	471,97	19,67	40,0844799	921,9430376	0,98583914

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 51 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de enero año 2021 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 51

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	2710,83741	677,709353	29,0549497	1,08239E-16	0,50263775	1,1002831
Within Groups	2682,3855	23,3250913				
Total	5393,22291	45,3212009				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.3.3. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021

Tabla 52

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	137,38	5,72	15,2289575	350,266021	1,04650821
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	175,21	7,30	25,5797221	588,333608	1,04650821
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	235,95	9,83	35,2622849	811,032553	1,04650821
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	205,40	8,56	22,646786	520,876079	1,04650821
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	429,47	17,89	32,7037816	752,186976	1,04650821

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 53 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de febrero año 2021 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 53

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	2157,70912	539,427279	20,5227892	8,78674E-13	0,41651365	0,92472494
Within Groups	3022,69524	26,2843064				
Total	5180,40435	43,5328097				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.3.4. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021

Tabla 54

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	171,43	7,14	11,2813033	259,469976	0,81032134
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	172,90	7,20	13,3235574	306,44182	0,81032134
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	236,28	9,85	17,9033057	411,776032	0,81032134
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	213,34	8,89	16,5072781	379,667395	0,81032134
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	460,44	19,19	19,7790361	454,917829	0,81032134

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 55 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de marzo año 2021 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 55

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	2413,81745	603,454363	38,2929337	2,4313E-20	0,57117032	1,26314643
Within Groups	1812,27305	15,7588961				
Total	4226,0905	35,5133656				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.4. ANOVAS TUMBACO

4.4.1. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020

Tabla 56

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	158,98	6,62	4,56154925	104,9156328	0,52957996
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	162,43	6,77	4,76727646	109,6473586	0,52957996
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	202,70	8,45	10,7315014	246,8245326	0,52957996
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	155,86	6,49	4,52442491	104,061773	0,52957996
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	242,49	10,10	9,06984015	208,6063235	0,52957996

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 57 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de diciembre año 2020 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 57

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	235,543896	58,885974	8,74857935	3,34687E-06	0,23330429	0,60375835
Within Groups	774,05562	6,73091844				
Total	1009,59952	8,48402955				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.4.2. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de enero año /2021

Tabla 58

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	147,42	6,14	7,86126671	180,809134	0,67887185
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	141,54	5,90	9,35807777	215,235789	0,67887185
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	203,09	8,46	16,8597359	387,773926	0,67887185
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	196,02	8,17	12,9417751	297,660827	0,67887185
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	218,69	9,11	8,28318243	190,513196	0,67887185

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 59 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de enero año 2021 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 59

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	200,757833	50,1894582	4,53759437	0,001935517	0,13631488	0,4348177
Within Groups	1271,99287	11,0608076				
Total	1472,75071	12,3760563				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.4.3. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021

Tabla 60

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	145,09	6,05	6,00297833	138,068502	0,67795846
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	151,41	6,31	7,20414635	165,695366	0,67795846
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	195,08	8,13	15,5521993	357,700583	0,67795846
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	208,97	8,71	18,3476933	421,996947	0,67795846
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	210,61	8,78	8,04830299	185,110969	0,67795846

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 61 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de febrero año 2021 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$, lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 61

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	167,274406	41,8186016	3,79098529	0,006213373	0,11649879	0,39743895
Within Groups	1268,57237	11,0310641				
Total	1435,84677	12,0659393				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.4.4. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021

Tabla 62

Descripción de los datos para el ANOVA

DESCRIPTION					Alpha	0,05
Group	Count	Sum	Mean	Variance	SS	Std Err
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	162,53	6,77	1,82882246	42,0629166	0,46928011
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	174,89	7,29	3,7888547	87,1436581	0,46928011
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	224,72	9,36	7,19635738	165,51622	0,46928011
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	242,02	10,08	11,2933404	259,746828	0,46928011
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24	247,67	10,32	2,31948359	53,3481226	0,46928011

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 63 se realiza un ANOVA correspondiente al mes de marzo año 2021 en dónde tenemos el valor $p < 0,05$ lo cual nos indica que existiría una diferencia entre los datos mensuales tanto de los sensores como con la estación DMQ.

Tabla 63

Resultados del método estadístico ANOVA

Sources	SS	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE
Between Groups	256,136599	64,0341498	12,1153541	2,98644E-08	0,29647006	0,71049731
Within Groups	607,817745	5,2853717				
Total	863,954344	7,26012054				

Nota. En la tabla se encuentra resaltada la probabilidad existente. Fuente: La investigación.

4.5. PRUEBA DE TUKEY CAMAL METROPOLITANO

4.5.1. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020

Tabla 64

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0,05
group	mean	n	ss	
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,29	24	409,373431	
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,01	24	360,648535	
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,97	24	367,622615	
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,01	24	453,787621	
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	18,69	24	388,056615	
		120	1979,48882	

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 65, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de diciembre año 2020 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 65

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,2845938	0,84688021	2,69765873	0,31923949
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,32566614	0,84688021	0,38454806	0,99878393
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,28272867	0,84688021	1,51465184	0,82099548
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,39915719	0,84688021	11,0985675	2,4095E-11
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,95892766	0,84688021	2,31311068	0,4779624
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,00186513	0,84688021	1,1830069	0,91869003
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,683751	0,84688021	13,7962262	-3,3307E-15
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,95706253	0,84688021	1,13010378	0,93037289
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,72482333	0,84688021	11,4831156	5,8354E-12
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,6818859	0,84688021	12,6132193	8,0491E-14

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación.

4.5.2. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de enero año /2021

Tabla 66

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0,05
group	mean	n	ss	
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,17	24	618,439947	
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,67	24	294,139179	
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,60	24	412,517797	
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,14	24	435,345535	
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,67	24	921,943038	
		120	2682,3855	

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 67, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de enero año 2021 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 67

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,49423316	0,98583914	1,51569673	0,82062512
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,43813912	0,98583914	0,44443267	0,99785606
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,02492268	0,98583914	0,02528067	0,99999998
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,4993246	0,98583914	11,6645041	2,9758E-12
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,93237228	0,98583914	1,9601294	0,63783063
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,46931048	0,98583914	1,49041606	0,82948477
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,9935578	0,98583914	13,1802008	5,5511E-15
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,46306179	0,98583914	0,46971334	0,99733978
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,0611855	0,98583914	11,2200714	1,5416E-11
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,5242473	0,98583914	11,6897848	2,7085E-12

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación.

4.5.3. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021

Tabla 68

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha 0,05
group	mean	n	ss
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,72	24	350,266021
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,30	24	588,333608
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,83	24	811,032553
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,56	24	520,876079
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	17,89	24	752,186976
		120	3022,69524

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 69, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de febrero año 2021 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 69

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,57607616	1,04650821	1,50603325	0,82403668
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,10692085	1,04650821	3,92440385	0,04955386
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,83388107	1,04650821	2,70793964	0,31541821
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,1702076	1,04650821	11,6293474	3,3915E-12
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,53084469	1,04650821	2,4183706	0,43191076
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,25780491	1,04650821	1,2019064	0,91425024
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,5941314	1,04650821	10,1233142	8,225E-10
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,27303978	1,04650821	1,21646421	0,91073476
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,06328672	1,04650821	7,70494358	2,8947E-06
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,3363265	1,04650821	8,92140779	5,3991E-08

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación.

4.5.4. Sensores E01-E04 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021

Tabla 70

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha 0,05
group	mean	n	ss
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,14	24	259,469976
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,20	24	306,44182
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,85	24	411,776032
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,89	24	379,667395
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,19	24	454,917829
		120	1812,27305

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 71, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de marzo año 2021 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 71

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,06150215	0,81032134	0,07589847	0,99999809
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,70222553	0,81032134	3,33475795	0,13455638
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,74630332	0,81032134	2,15507507	0,54921861
MED. E01_MP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,0422593	0,81032134	14,8610912	-4,6629E-15
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,64072337	0,81032134	3,25885948	0,15097349
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,68480117	0,81032134	2,0791766	0,58382483
MED. E02_MB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,9807572	0,81032134	14,7851927	-4,6629E-15
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,95592221	0,81032134	1,17968288	0,9194564
MED. E03_EG ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,34003379	0,81032134	11,5263333	4,9721E-12
MED. E04_FB ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,295956	0,81032134	12,7060161	5,54E-14

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación

4.6. PRUEBA DE TUKEY TUMBACO

4.6.1. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de diciembre año /2020

Tabla 72

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha
			0,05
group	mean	n	ss
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,62	24	104,915633
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,77	24	109,647359
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,45	24	246,824533
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,49	24	104,061773
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,10	24	208,606323
		120	774,05562

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 73, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de diciembre año 2020 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores (E05_EV, E06_EY, E08_DY) con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 73

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,14372917	0,52957996	0,2714022	0,99969285
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,82172086	0,52957996	3,43993542	0,11411722
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,12988753	0,52957996	0,24526519	0,99979448
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,4797464	0,52957996	6,57076675	8,7653E-05
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,6779917	0,52957996	3,16853322	0,17241802
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,2736167	0,52957996	0,51666739	0,99614855
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,33601723	0,52957996	6,29936455	0,00018821
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,9516084	0,52957996	3,68520061	0,07594756
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,65802553	0,52957996	3,13083133	0,18199831
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,60963393	0,52957996	6,81603194	4,3142E-05

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación.

4.6.2. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de enero año /2021

Tabla 74

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0,05
group	mean	n	ss	
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,14	24	180,809134	
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,90	24	215,235789	
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,46	24	387,773926	
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,17	24	297,660827	
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,11	24	190,513196	
		120	1271,99287	

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 75, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de enero año 2021 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores (E05_EV, E06_EY) con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 75

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,24499662	0,67887185	0,36088787	0,99905271
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,31949283	0,67887185	3,41668733	0,11841096
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,02517254	0,67887185	2,98314409	0,22317968
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,969569	0,67887185	4,37427037	0,02059033
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,56448945	0,67887185	3,7775752	0,06462315
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,27016915	0,67887185	3,34403197	0,13264796
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,21456561	0,67887185	4,73515824	0,0095261
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,2943203	0,67887185	0,43354323	0,99805414
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,65007616	0,67887185	0,95758304	0,96100283
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,94439646	0,67887185	1,39112627	0,86215094

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación.

4.6.3. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de febrero año /2021

Tabla 76

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0,05
group	mean	n	ss	
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,05	24	138,068502	
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,31	24	165,695366	
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,13	24	357,700583	
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,71	24	421,996947	
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,78	24	185,110969	
		120	1268,57237	

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 77, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de febrero año 2021 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores (E05_EV) con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 77

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,26370569	0,67795846	0,38897028	0,99872806
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,08316104	0,67795846	3,07269719	0,19751014
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,66166055	0,67795846	3,92599358	0,04940871
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,73012277	0,67795846	4,0269765	0,04090558
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1,81945536	0,67795846	2,68372691	0,32445845
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,39795486	0,67795846	3,53702331	0,097499
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,46641709	0,67795846	3,63800623	0,08233916
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,5784995	0,67795846	0,85329639	0,97430541
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,64696173	0,67795846	0,95427931	0,96148179
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,06846223	0,67795846	0,10098292	0,99999402

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación

4.6.4. Sensores E05-E08 y estación REMMAQ mes de marzo año /2021

Tabla 78

Descripción para la obtención de la prueba de TUKEY

TUKEY HSD/KRAMER			Alpha	0,05
group	mean	n	ss	
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,77	24	42,0629166	
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,29	24	87,1436581	
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,36	24	165,51622	
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,08	24	259,746828	
MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,32	24	53,3481226	
		120	607,817745	

Nota. En la tabla se muestra el nivel de significancia. Fuente: La investigación.

En la Tabla 79, se representa los análisis de la prueba de TUKEY del mes de marzo año 2021 en el cual los valores de $p < 0,05$ corresponden a las medias de los sensores (E05_EV, E06_EY) con respecto a la media de la estación, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre los sensores y la estación DMQ.

Tabla 79

Resultados de la prueba de TUKEY

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	p-value
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,51510349	0,46928011	1,09764613	0,93699994
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,59157124	0,46928011	5,52243998	0,00147473
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,31246481	0,46928011	7,05860903	2,1055E-05
MED. E05_EV ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,54762437	0,46928011	7,55971604	4,5608E-06
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,07646774	0,46928011	4,42479385	0,01854771
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	2,79736132	0,46928011	5,9609629	0,0004728
MED. E06_EY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,03252087	0,46928011	6,46206991	0,00011935
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,72089358	0,46928011	1,53616905	0,81329739
MED. E07_CE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,95605313	0,46928011	2,03727606	0,60290884
MED. E08_DY ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MED. RED DMQ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,23515955	0,46928011	0,50110701	0,99657907

Nota. En la tabla se encuentran las probabilidades de los sensores y la red DMQ Fuente: La investigación.

4.7. Discusión

- ✓ Según (Municipalidad de Lima, 2021) en un trabajo realizado de monitoreo ambiental utilizando sensores de bajo costo se superaron los valores máximos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ubicados en $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{2,5} en horario 08h00-10h00, y en un horario de 17h00 -20h00. En contraste, los sensores utilizados en la presente investigación ubicados alrededor de la estación del Camal Metropolitano se acercan al LMP para PM_{2,5} en el horario de 12h00 a 14h00 horas, sin embargo, no se sobrepasan el LMP. Hay que acotar que en este mismo horario la estación de la red REMMAQ si registra picos de contaminación. Los sensores ubicados alrededor de la Estación de Tumbaco no registraron en los 4 meses de monitoreo ningún pico de contaminación por PM_{2,5}. Hay que mencionar que en los últimos días de diciembre y en los primeros días de enero debido a la quema de monigotes y el uso de fuegos artificiales, los sensores registraron picos de contaminación en el horario comprendido entre las 06h00-08h00 horas.
- ✓ En el estudio de (Roncancio, 2019) se pudo observar el comportamiento de los sensores de bajo costo para PM_{2,5} en relación a 3 estaciones de referencia en Bogotá donde se realizaron calibraciones en los equipos, para tratar de mejorar las lecturas, el monitoreo se efectuó durante 4 meses periodo en el cual se evidencio una relativa mejora en la toma de datos, sin embargo, aunque menores, se mantuvieron las diferencias entre los sensores y las estaciones de referencia. En el presente estudio no se efectuó ningún tipo de calibraciones debido a que estas se realizan a través de programación de software en

las que se incluyen algoritmos que con factores meteorológicos y climáticos para obtener mejores resultados. A pesar de no realizar estas correcciones, según los datos analizados durante los 4 meses de monitoreo y con los 8 sensores alrededor de dos estaciones se puede establecer que los mayores errores de lectura se registran en horas pico comúnmente de las 12h00 a las 14h00 al existir una saturación de contaminantes por diferentes actividades entre ellas la afluencia de tráfico. La distancia a la cual se encontraron los sensores es un factor a considerar ya que al ser está más corta los valores obtenidos presentan un menor error esto debido a la sensibilidad del equipo.

- ✓ Según (Dextre Evangelista, 2016) el comportamiento de PM_{2,5} en el sector de San Juan de Lurigancho Lima-Perú Chiclayo presenta una relación inversa con la temperatura ambiental y la humedad relativa, en los 4 meses de monitoreo que se realizó en el presente trabajo se logró establecer una relación directa entre la temperatura ambiental y la concentración de PM_{2,5} en la atmósfera tanto en las medidas registradas por las estaciones fijas como los valores obtenidos por los sensores ubicados alrededor de las estaciones de la red.
- ✓ Según el estudio realizado por (Liang y Yu, 2021) en la ciudad de Taiwán, uno de los principales usos de los sensores es permitir la comparación de los valores obtenidos, tanto por el sistema de monitoreo del gobierno, como por los valores obtenidos con los sensores de bajo costo ubicados a nivel local, de manera que el común de la población puedan conocer la calidad de aire en sus hogares. Esto porque los datos arrojados por el sistema de monitoreo del gobierno son distintos a los obtenidos por sensores de bajo costo. También podría aplicarse con el objetivo de disuadir la contaminación ilegal del aire en áreas industriales. En la presente investigación los valores obtenidos, tanto por

la red de monitoreo municipal como con los sensores de bajo costo en el sector del camal metropolitano, discrepan en diferente magnitud por lo que no se podría reemplazar una red de monitoreo por sensores de bajo costo sin embargo, en vista de que las mayores discrepancias se presentan en horas pico de una ciudad que tiene un gran parque automotor, podría una red de sensores de bajo costo ser de utilidad en localidades que no tengan un gran parque automotor. Por otra parte, en el sector de Tumbaco dos sensores estuvieron ubicados a distancias de 300 m y 600 m que son relativamente cercanas en comparación con los otros dos sensores que estuvieron a distancias de 2,6 km y 4,6 km la discrepancia de valores de PM_{2,5} obtenidos entre los dos sensores más cercanos a la red de monitoreo municipal es menor que los valores obtenidos con los otros dos sensores más lejanos. Hay que tener en cuenta que los sensores registran picos altos de contaminación ya que en las festividades de diciembre se obtuvieron datos hasta de 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Por todo lo indicado estos sensores pueden ser muy útiles en el monitoreo de la contaminación por PM_{2,5} de una forma sencilla y de bajo costo.

- ✓ En el presente trabajo de investigación al realizar un análisis de costos para la implementación de una red de monitoreo atmosférico con la aplicación de sensores de bajo costo PM_{2,5} se manejaría valores alrededor de \$120 cada uno sin tomar en cuenta costos de envío e instalación de los mismos por lo que para cubrir un espacio como el DMQ se necesitaría una adquisición de 100 sensores los cuales se ubicarían a distancias de 0,5 km a lo largo y ancho de la ciudad dando un valor estimado de \$20000 por otra parte los costos manejados según (Hernández et al., 2010) para la implementación de redes de monitoreo en función principalmente del tipo de contaminante y del número de habitantes el costo total del proyecto es de \$250000.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Se evaluaron los datos obtenidos por la red DMQ con respecto a los sensores de bajo costo utilizados mediante modelos estadísticos como ANOVA y la Prueba de Tukey. Para el sector del Camal Metropolitano se evidenció una diferencia entre los datos registrados por la red REMMAQ y los sensores de PM_{2,5}, mientras que entre los 4 sensores de PM_{2,5} no se registró diferencias significativas. Por otra parte, en el sector de Tumbaco, existe diferencias entre la red REMMAQ y 2 de los sensores PM_{2,5}, y no se observaron diferencias significativas entre los sensores durante los 4 meses de monitoreo.
- ✓ En la estación de red REMMAQ Tumbaco los valores obtenidos comparados con los de los sensores E07_CE y E08_DY no existe una diferencia significativa entre los datos de la red REMMAQ y los sensores ya mencionados, esto debido a que la distancia entre ambos y la estación fue la menor registrada.
- ✓ Mediante la obtención de las medias de los datos tanto de los sensores de bajo costo como los datos obtenidos por la REMMAQ en los puntos de monitoreo como son Tumbaco y el Camal Metropolitano se evidencia que la distancia de los sensores respecto a la estación si es un factor relevante para la obtención de valores (PM_{2,5}), ya que mientras más cercano el sensor a la estación de referencia, las medidas tienen menor

diferencia entre si al ser analizados estos se encontraron por debajo de los valores obtenidos por la red DMQ.

- ✓ Con respecto al límite establecido por la legislación ecuatoriana de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se pudo evidenciar que los datos obtenidos por los sensores y la red DMQ no sobrepasaron los límites permisibles tanto en el sector del Camal Metropolitano y Tumbaco, sin embargo con el límite permisible de las guías de la OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se observó que en los datos obtenidos por la red DMQ estarían por encima del límite establecido entre los meses de muestreo y con cierta regularidad en horas pico (6:00 a 8:00 y de 12:00 a 14:00) en el sector del Camal Metropolitano por otra parte en el sector de Tumbaco no se evidenciaron datos mayores a las guías de la OMS.
- ✓ Actualmente existen redes a nivel mundial de ciencia ciudadana que promueven el uso de software libre para facilitar el acceso a la mayor cantidad de ciudadanos, un ejemplo de esto es la plataforma de ciencia ciudadana CanAirIO (https://canair.io/samples/first_track.html) que permitió ubicar los sensores utilizados georreferenciándolos de tal forma que permite observar estos sensores en tiempo real, además ofrece también descargar los datos y los transforma en ICA.
- ✓ Determinado el error cuadrático medio entre las medidas de los sensores PM_{2,5}, los datos de la red REMMAQ PM_{2,5} del Camal Metropolitano y Tumbaco y los valores meteorológicos de humedad relativa y temperatura, se observó que existe relación directa entre la temperatura y el PM_{2,5}, es decir que al aumentar la temperatura también aumenta la concentración del contaminante. Con respecto a la humedad relativa se evidenció una relación inversa con los valores de PM_{2,5} registrado por los 8 sensores

de bajo costo y por las dos estaciones de la REMMAQ Camal Metropolitano y Tumbaco.

5.2. Recomendaciones

- ✓ Para próximos estudios que involucren este tipo de equipos se recomienda la implementación de un sensor en el sitio exacto dónde está ubicado la red de monitoreo municipal para que así se evalúe la diferencia entre los datos tomados por el sensor y la red principal.
- ✓ La implementación de sensores de bajo costo sería una propuesta rentable en ciudades que no cuenten con una Red de monitoreo de calidad de aire y que sus niveles de contaminación no sean muy altos y la temperatura sea menor a 25 °C, para obtener datos cercanos a los que proporcionan una red de monitoreo municipal.
- ✓ Se debe verificar que al momento de colocar los sensores exista factibilidad de mantener la conexión a internet y alimentación continua de electricidad y la implementación de un generador en caso de existir alguna falla eléctrica en el sector para de esta manera obtener todos los datos monitoreados las 24 horas esto siempre y cuando se necesiten la mayor cantidad de datos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Aburrá, Á. M. del V. de. (2019). *Qué es el ICA*. <https://www.metro-pol.gov.co/ambiental/calidad-del-aire/Paginas/Generalidades/ICA.aspx>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2018). *Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente* / EPA en español / US EPA.

<https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-el-medioambiente>

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2021). *La Contaminación Atmosférica. Aire*.

Alberto, I., y Farfán, C. (2010). *Clasificación de los Sensores Remotos*. 1–9.

<http://thelastlabproject.blogspot.com/2010/12/clasificacion-de-los-sensores.html>

Andrades Rodríguez, M., y Muñoz León, C. (2012). *FUNDAMENTOS DE CLIMATOLOGÍA*.

Anta Félez, J. L., Bolens, L., Buttita, I., Buxó Rey, M. J., Calatrava Escoba, J., Cea, A., Córdoba

Montoya, P., Cortés Peña, A. L., Cuisenier, J., Étienvre, J.-P., Galinier, J., González

Alcantud, J. A., Humbert, A., Lee Kaprow, M., Lisón Tolosana, C., Lupo, A., Medina

Álvarez, Á., y Roca, M. (1997). *El aire. Mitos, ritos y realidades*.

AQICN. (2015). *Pronóstico de la calidad del aire en América del Sur*.

<https://aqicn.org/faq/2015-05-30/air-quality-forecast-in-south-america/>

Atlas Ambiental del Distrito Metropolitano de Quito. (2008). *El Clima En El Distrito Metropolitano De Quito*. 20–23.

https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/cambio_climatico/Documents/DC2AC1_atlas_ambiental_dmq_clima.pdf%0Ahttp://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/quitoambiente/temas_ambientales/camb

Baca, J. C. (2014a). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011 (Emission Inventory of Key Air Pollutants, DMQ 2011)*. 53.

<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/informes#inventario-de-emisiones-2011>

Baca, J. C. (2014b). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011 (Emission Inventory of Key Air Pollutants, DMQ 2011)*. 53.

Bernal, D. (2020). *Semana.com - Últimas Noticias de Colombia y el Mundo*.

<https://www.semana.com/sostenible/actualidad/articulo/polvo-del-desierto-del-sahara-ya-estaria-afectando-el-aire-de-bogota/52290/>

Borrás García, E. M. (2013). *Caracterización de material particulado atmosférico generado en reactores fotoquímicos y procedente de muestras ambientales*. 266.

CanAirIO. (2020). *Mediciones Ciudadanas AQA*. <http://daquina.io/canairio/>

Cient, C. (2004). Consenso Científico sobre la Contaminación del Aire. *GreenFacts*, 3–6.

<https://www.greenfacts.org/es/dioxido-nitrogeno-no2/>

CMAOT. (2020). *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía*. Localización de La Red Automática de Calidad Del Aire.

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/menuitem.7e1cf46ddf59bb2>

27a9ebe205510e1ca/?vgnextoid=bd9a6b23d642c310VgnVCM2000000624e50aRCRD&vg
nextchannel=b61a937a34fcc310VgnVCM2000000624e50aRCRD&lr=lang_es&vgnsecond
oid=3cda6b23d642c310VgnVCM

CSA/Group. (2020). *Productos certificados MCERTS: Archivos de monitores de partículas ambientales indicativos* - CSA Group UK.

<https://www.csagroupuk.org/services/mcerts/mcerts-product-certification/mcerts-certified-products/mcerts-certified-products-indicative-ambient-particulate-monitors/>

Departamento de Territorio y Sostenibilidad. (2018). *Sensores Bajo Coste para la Evaluación de la Calidad del Aire y el Ruido*. <https://territori.gencat.cat/es/detalls/Article/Sensores-Bajo-Coste-para-la-Evaluacion-de-la-Calidad-del-Aire-y-el-Ruido.-B2828-09-2018>

Dextre Evangelista, E. (2016). Comportamiento de las variables meteorológicas y su relación con la calidad de aire por material particulado PM2.5, San Juan de Lurigancho – 2016. *Universidad César Vallejo*, 113.

Echeverri Londoño, C. A. (2019). *Contaminación Atmosférica*.

Ecuadoriano, S. de A. (2018). *Control de partículas y emisiones en el aire ambiente*.

<https://www.acreditacion.gob.ec/control-de-particulas-emisiones-en-aire/>

EPA. (2020). *Conceptos básicos sobre el material particulado (PM, por sus siglas en inglés)*.

¿Qué Es El PM, y Cómo Llega Al Aire? <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>

García, R., Fernando, F., Agudelo, G., Alberto, R., Jiménez, J., Margarita, K., R, F. F. G., G, R.

A. A., y J, K. M. J. (2006). Metodología para la localización de estaciones de monitoreo de

- material particulado a escala local (0.5 a 4.0 Km) en la ciudad de Santa Marta. (*Prueba*) *Gestión y Ambiente (Prueba)*, 9(2), 121–135.
- García, S. (2015). Contaminación Industrial. *El Financiero*.
<https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/salvador-garcia-linan/contaminacion-industrial>
- Gmbh, H. E., y Service, S. C. (2010). *Product conformity certificate*. 8, 1–8.
- Guzmán Rodríguez, Á. F. (2018). *PROCESO DE ESTUDIO DE ILUMINACIÓN NATURAL PARA GARANTIZAR EL CONFORT LUMÍNICO EN ESPACIOS INTERIORES EN LA CIUDAD DE QUITO*. 30–31.
- Hernández, M., Encalada, M., y Molina, S. (2010). Plan Nacional de Calidad del Aire. *Ministerio Del Medio Ambiente, I*(Reintegración Comunitaria), 5–90.
- INE. (2016). Manual 1. Principios de Medición de la Calidad del Aire. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*, 43. [https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1- Principios de Medición de la Calidad del Aire.pdf](https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/guias/1-Principios%20de%20Medici%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20del%20Aire.pdf)
- Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático. (2007a). *Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos*. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- Instituto Nacional De Ecología y Cambio Climático. (2007b). *Tipos y fuentes de contaminantes atmosféricos*.
- Jiménez, R. M. R., Capa, Á. B., y Lozano, A. P. (2004). *Meteorología Y Climatología*.
<https://cab.inta-csic.es/uploads/culturacientifica/adjuntos/20130121115236.pdf>
- Lara Barragán, A., y Núñez, H. (2007). *FÍSICA II. Un enfoque constructivista*.
- Liang, C. J., y Yu, P. R. (2021). Assessment and improvement of two low-cost particulate matter

sensor systems by using spatial interpolation data from air quality monitoring stations.

Atmosphere, 12(3). <https://doi.org/10.3390/atmos12030300>

Linares Gil, C., y Díaz Jiménez, J. (2008). *¿Qué son las PM_{2,5} y cómo afectan a nuestra salud?* / *Ecologistas en Acción*. Septiembre. <https://www.ecologistasenaccion.org/17842/que-son-las-pm25-y-como-afectan-a-nuestra-salud/>

Lucero, K. (2020). *Mientras el transporte público sea deficiente, el parque automotor seguirá engordando*. <https://www.revistagestion.ec/sociedad-analisis/mientras-el-transporte-publico-sea-deficiente-el-parque-automotor-seguira>

MAAE. (2003). *Norma De Calidad Del Aire Ambiente*. 415.

<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf>

MAE. (2011). Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire. *Texto Unificado de Legislación Secundaria Del Ministerio Del Ambiente*, 402–415.

Marciszack Campoli Ezequiel. (2016). *SISTEMA DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE INTEGRADO A IoT*. 67.

<http://www.buenosaires.gob.ar/agenciaambiental/monitoreoambiental/calidadaire>

Marín, E. (2016). *60 años después, por fin ya sabemos qué ocasionó la niebla asesina de Londres*. <https://es.gizmodo.com/60-anos-despues-por-fin-ya-sabemos-que-ocasiono-la-nie-1789022889>

Mata, E. V. (2011). Calidad del aire y sus efectos en la salud humana. *CEGESTI-Éxito Empresarial*, 149, 1–5.

http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_149_220511_es.pdf

MINAMBIENTE. (2016). *DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE*. 8, 1–27.

<http://library1.nida.ac.th/termpaper6/sd/2554/19755.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2003). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio

Ambiente, TULSMA. *Registro Oficial Edición Especial 2 de 31-Mar.-2003*, 3399, 310–311.

Molina, C. M. (2018). *Análisis de la contaminación en mega ciudades mexicanas mediante la utilización de redes de sensores de bajo costo de calidad del aire*.

https://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2019/05/8.resumenEjecutivo_Equipo-de-bajo-costo-19dic18_Tono2018.pdf

Municipalidad de Lima. (2021). *Vigilancia de calidad del aire en Lima Metropolitana*. 42.

Norma Técnica 001. (2001). *Norma técnica para emisiones a la atmosfera de fuentes fijas (nt001) 1. 1*, 1–25.

OMS. (2005). Actualización mundial 2005. *Guías de Calidad Del Aire de La OMS Relativas Al Material Particulado, El Ozono, El Dióxido de Nitrógeno y El Dióxido de Azufre Actualización*, 5(1), 1–21.

https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/69478/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf%0Ajsessionid=970454FA25DFB60943EBC3409FF7E87B?sequence=1

Organización Meteorológica Mundial. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*.

Organización Mundial de la Salud. (2018). *La contaminación*. Calidad Del Aire.

Páez, C. (2012). Gestión de la contaminación atmosférica urbana: El caso de Quito. *Flacso*, 1–17. <http://www.flacsoandes.edu.ec/web/imagesFTP/10088.ContaminacionQuito.pdf>

- Parra, A. Q. (2010). *Caracterización fisicoquímica del material particulado-fracción respirable PM2.5 en Pamplona-Norte de Santander-Colombia*. 8, 21.
- Raúl, S. T. C. (2015). Implementación de un prototipo para el monitoreo de las condiciones del ambiente de trabajo Proyecto. *Ekp*, 13(3), 1576–1580.
- Rico Méndez, F. G., López Castañares, R., y Jaimes Figueroa, E. (2001). *Daños a la salud por contaminación atmosférica*.
- Rioja, H., y Zúñiga, P. E. (2017). Efectos en salud por la contaminación atmosférica en México. *Instituto Nacional de Salud Pública*, 1–77.
- https://www.paho.org/mex/index.php?option=com_docman&view=download&slug=1301-efectos-salud-horacio-riojas&Itemid=493
- Roncancio, L. X. (2019). *Evaluación Del Desempeño De Sensores De Bajo Costo Como Complemento Para El Monitoreo De La Calidad Del Aire De Bogotá Y Como Herramienta Para La Determinación Del Grado De Exposición De Una Población Caso De Estudio*. 190.
- Santalla Hernández, A., Naranjo Orellana, J., y Manonelles Marqueta, P. (2013). *Capítulo 6. Valoración respiratoria* 498. 1, 560.
- SciStarter.org. (2020). *¡Crea tu propio sensor de calidad del aire con CanAir.io! - SciStarter*. <https://scistarter.org/crea-tu-propio-sensor-de-calidad-del-aire-con-cana>
- Secretaría de Ambiente. (2021a). *Generalidades*. <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/indice-quiteno-de-la-calidad-del-aire#objetivos-del-iqua>

Secretaría de Ambiente. (2021b). *Red de Monitoreo Atmosférico*.

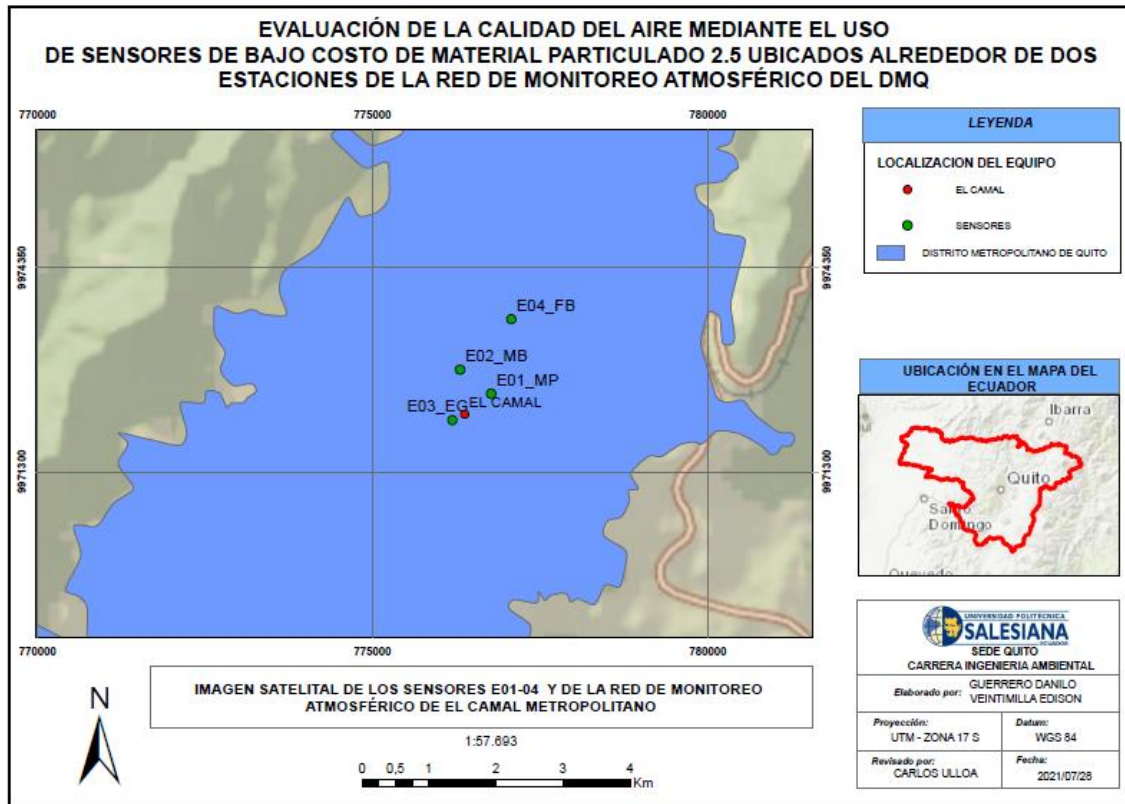
SOS Electronic. (2018). *Avance tecnológico en sensores ópticos de material particulado atmosférico*. Artículo Online. <https://www.soselectronic.es/articles/sensirion/avance-tecnologico-en-sensores-opticos-de-material-particulado-atmosferico-2217>

Sosa Núñez, G. (2018). *Transversalidad de la política de la calidad del aire en México*.

7. ANEXOS

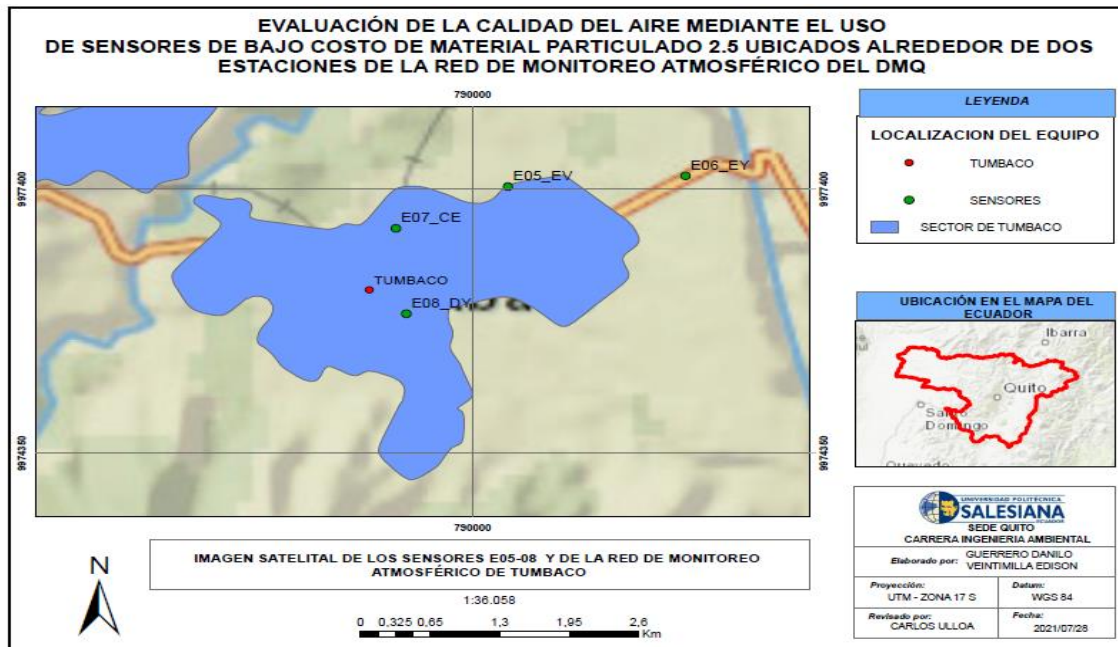
Anexo 1

Sector del Camal Metropolitano



Anexo 2

Sector de Tumbaco



Anexo 3

Fotografía de los sensores de bajo costo PM2,5



Anexo 4

Sensores de bajo costo con antena wifi



Anexo 5
Instalación del sensor E01_MP



Anexo 6
Instalación del sensor E02_MB



Anexo 7
Instalación del sensor E03_EG



Anexo 8
Instalación del sensor E04_FB



Anexo 9
Instalación del sensor E05_EV



Anexo 10
Instalación sensor E06_EY



Anexo 11
Instalación del sensor E07_CE



Anexo 12
Instalación del sensor E08_DY

